

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Lukáš Šnajdr

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Kamerové testy rozměrů, tvarů a přítomnosti
Camera based tests of domensions, shapes and presence

Zadání bakalářské práce

Student:

Lukáš Šnajdr

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma:

Kamerové testy rozměrů, tvarů a přítomnosti
Camera Based Tests of Dimensions, Shapes and Presence

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Optické testování výrobků je trend přinášející dosud nebývalé možnosti. Náplní práce je shrnutí vlastností dostupných HW a SW prostředků pro oblast strojového vidění a dále aplikace základních metod zpracování obrazové informace.

Cílem je vytvoření demonstrační úlohy ukazující možnosti využití strojového vidění pro průmyslové účely.

Body zadání:

1. Seznámení se s oblastí strojového vidění a základními HW komponentami.
2. Seznámení se s vývojovými nástroji pro vizuální inspekce.
3. Navržení laboratorní úlohy, volba komponent a scény pro kamerové měření.
4. Implementace algoritmů testů.
5. Zhodnocení dosažených výsledků závěrečné práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VLACH, J., J. HAVLÍČEK a M. VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [2] ŠONKA, Milan a Václav HLAVÁČ. *Počítačové vidění*. Praha: Grada, 1992. ISBN 80-85424-67-3.
- [3] SONKA, Milan, Vaclav HLAVAC a Roger BOYLE. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. 3rd edition. Toronto: Thomson Learning, 2007, 821 p. ISBN 049508252X. Dostupné také z: <http://www.engineering.uiowa.edu/~dip/LECTURE/lecture.html>.
- [4] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Vision Assistant Tutorial 2012*. VA_Tutorial.PDF, součást instalace LabVIEW 2012.
- [5] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial 2012*. VBAI_Tutorial.pdf, součást instalace LabVIEW 2012.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Jiří Kozíorek, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 30. dubna 2018


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Petru Bilíkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této práce je shrnout hardware pro strojové vidění a možnosti tvorby automatických inspekcí ve vizualizačním nástroji Vision Builder for Automated Inspection od firmy National Instruments. Tato práce obsahuje také pět Laboratorních úloh zaměřené na kamerové testy rozměrů, tvarů a přítomnosti, výběr hardwaru, otestování a ukázky výsledků jednotlivých úloh.

Klíčová slova

Vision Builder for Automated Inspection, Strojové vidění, automatické inspekce

Abstract

The aim of this work is to summarize hardware for machine vision and the possibility of making automated inspections in Vision Builder for Automated Inspection by National Instruments. This work also contains five Laboratory tasks focused on Camera Based Tests of Dimensions, Shapes and Presence, hardware selection, testing and demonstration of the results of individual tasks.

Key words

Vision Builder for Automated Inspection, machine vision, automated inspections

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	11
Seznam ilustrací	12
Seznam tabulek	15
1 Úvod	16
2 Typy snímačů	17
2.1 CCD snímače	17
2.2 CMOS snímače	18
3 Typy kamer	19
3.1 Maticové kamery	19
3.2 Řádkové kamery	20
4 Komunikační rozhraní	21
4.1 USB 2.0	21
4.2 USB 3.0	21
4.3 Gigabit Ethernet	21
4.4 FireWire (IEEE1394)	22
4.5 Camera Link	22
4.6 CoaXPress	22
5 Objektivy a filtry	23
5.1 Objektivy	23
5.2 Filtry	23
6 Osvětlovače	24
6.1 Plošné osvětlovače	24
6.2 Liniové osvětlovače	24
6.3 Back-light osvětlovače	24
6.4 Prstencové osvětlovače	25
6.5 Kupolovité osvětlovače	25
6.6 Difúzní koaxiální osvětlovače	25
7 Vision Builder for Automated Inspection (VBAI)	26
7.1 Nástroje pro vyčítání snímků	26
7.2 Nástroje pro upravení snímků	26
7.2.1 Kalibrace snímků	27
7.3 Nástroje pro určení charakteristiky snímků	27
7.4 Nástroje pro měření	28

7.5	Nástroje pro kontrolu přítomnosti	28
7.6	Nástroje pro rozpoznání částí	29
7.7	Nástroje pro komunikaci	29
7.8	Další nástroje	29
7.8.1	Vyhodnocení inspekce	29
7.8.2	Kalkulačka	29
7.8.3	Vypsání dat na obrazovku	30
7.9	Stavový diagram	30
8	Použitý hardware	31
8.1	Kamera	31
8.2	Osvětlení	31
8.2.1	Back-light BL-130W	31
8.2.2	Univerzální kontrolér CM-01 Mini	32
8.3	Sestavení hardwaru	32
9	Laboratorní úloha 1 - Roztřídění matic M6 – M12	33
9.1	Zadání	33
9.2	Návrh řešení	33
9.3	Postup	34
9.3.1	Kalibrace	34
9.3.2	Převedení na 8 bitový formát	34
9.3.3	Detekce matic	34
9.3.4	Kalkulačka	35
9.3.5	Celkové vyhodnocení	36
9.3.6	Vypsání dat na obrazovku	36
9.4	Ukázky automatické inspekce	37
9.5	Závěr k Laboratorní úloze 1	38
10	Laboratorní úloha 2 - Roztřídění podložek M6 – M12	39
10.1	Zadání	39
10.2	Návrh řešení	39
10.3	Postup	39
10.3.1	Detekce tmavých objektů	40
10.3.2	Kalkulačka	41
10.4	Ukázky automatické inspekce	42
10.5	Závěr k Laboratorní úloze 2	43
11	Laboratorní úloha 3 – Roztřídění matic a podložek M6 – M12	44
11.1	Zadání	44

11.2	Návrh řešení	44
11.3	Postup.....	44
11.3.1	Kalkulačka.....	44
11.3.2	Vypsání dat na obrazovku	45
11.4	Ukázky automatické inspekce	45
11.5	Závěr k Laboratorní úloze 3	45
12	Laboratorní úloha 4 - Inspekce ozubeného kola	46
12.1	Zadání.....	46
12.2	Návrh řešení	46
12.3	Stavový diagram.....	47
12.4	Postup části roztřizení	47
12.4.1	Kalibrace a převedení na 8 bitový formát	47
12.4.2	Detekce vnitřních děr	48
12.5	Postup části Oz1	48
12.5.1	Detekce ozubeného kola 1.....	49
12.5.2	Nastavení koordinace 1	49
12.5.3	Počet zubů 1	49
12.5.4	Kalkulačka 1.....	50
12.5.5	Vyhodnocení 1	51
12.5.6	Vypsání dat na obrazovku 1	51
12.6	Postup části Oz2.....	51
12.6.1	Detekce ozubeného kola 2.....	51
12.6.2	Nastavení koordinace 2	51
12.6.3	Počet zubů 2	51
12.6.4	Vyhodnocení 2	52
12.6.5	Vypsání dat na obrazovku 2	52
12.7	Postup části Jiné Oz.....	52
12.8	Ukázky automatické inspekce	53
12.9	Závěr k Laboratorní úloze 4.....	54
13	Laboratorní úloha 5 – Kontrola LED pásku	55
13.1	Zadání.....	55
13.2	Návrh řešení	55
13.3	Postup.....	55
13.3.1	Kalibrace	56
13.3.2	Převedení na 8 bitový formát	56
13.3.3	Detekce první a poslední LED diody	56

13.3.4	Detekce LED diod	56
13.3.5	Kalkulačka	57
13.3.6	Celkové vyhodnocení	57
13.3.7	Vypsání dat na obrazovku	57
13.4	Ukázky automatické inspekce	58
13.5	Závěr k Laboratorní úloze 5	59
14	Závěr	60
	Literatura	61
	Seznam příloh	63
	CD příloha	63

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Význam
CCD	Charge-coupled device
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
CPU	Central Processing Unit
DMA	Direct Memory Access
Fps	frames per second (počet snímků za sekundu)
IR	Infrared radiation (infračervené záření)
LED	Light-Emitting Diode
Mpx	Megapixel
PoE	Power over Ethernet
PoCL	Power over Camera Link
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultraviolet (ultrafialové záření)
VBAI	Vision Builder Automated Inspect

Seznam ilustrací

Obrázek 2.1: Blooming CCD snímače	17
Obrázek 2.2: Blokové schéma barevného CCD snímače	17
Obrázek 2.3: Světlocitlivá buňka CMOS snímače	18
Obrázek 2.4: Blokové schéma barevného CMOS snímače	18
Obrázek 3.1: Průmyslová maticová kamera JAI GO	19
Obrázek 3.2: Inteligentní kamera National Instruments se zpracováním obrazu v kameře	19
Obrázek 3.3: Struktura a princip řádkové kamery	20
Obrázek 3.4: Řádková kamera RACER GIGE VISION od firmy Basler	20
Obrázek 4.1: Kamera s rozhraním USB 3.0	21
Obrázek 4.2: Kamera s rozhraním Gigabit Ethernet	21
Obrázek 4.3: Kamera s rozhraním FireWire	22
Obrázek 4.4: Kamera s rozhraním Camera link	22
Obrázek 4.5: Kamera s rozhraním CoaXPress	22
Obrázek 6.1: Plošné osvětlení	24
Obrázek 6.2: Liniové osvětlení	24
Obrázek 6.3: Back-light osvětlovač	24
Obrázek 6.4: Prstencové osvětlení	25
Obrázek 6.5: Kupolovité osvětlení	25
Obrázek 6.6: Difúzní koaxiální osvětlení	25
Obrázek 7.1: Nástroje pro vyčítání snímků.....	26
Obrázek 7.2: Nástroje pro úpravu snímků.....	27
Obrázek 7.3: Nástroje pro určení charakteristiky snímků	27
Obrázek 7.4: Nástroje pro měření	28
Obrázek 7.5: Nástroje pro kontrolu přítomnosti	28
Obrázek 7.6: Nástroje pro rozpoznání částí	29
Obrázek 7.7: Další nástroje	30
Obrázek 7.8: Základní a rozšířený stavový diagram	30
Obrázek 8.1: Webová kamera Microsoft LifeCam Studio	31
Obrázek 8.2: Back-light osvětlovač BL-130W	31
Obrázek 8.3: Univerzální kontrolér CM-01 Mini	32
Obrázek 8.4: Sestavení hardwaru.....	32
Obrázek 9.1: Postup automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 1	34
Obrázek 9.2: Vytvořený kalibrační obrazec pomocí pravítka	34
Obrázek 9.3: Zadání parametrů kalibračního obrazce.....	34

Obrázek 9.4: Ukázka kroku detekce matic pro Laboratorní úlohu 1	35
Obrázek 9.5: Nastavení kroku detekce matic pro Laboratorní úlohu 1	35
Obrázek 9.6: Řešení kalkulačky pro Laboratorní úlohu 1	36
Obrázek 9.7: Ukázka správné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 1	37
Obrázek 9.8: Ukázka chybné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 1	37
Obrázek 10.1: Postup automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 2	39
Obrázek 10.2: Ukázka detekce tmavých objektů pro Laboratorní úlohu 2	40
Obrázek 10.3: Nastavení kroku detekce světlých objektů pro Laboratorní úlohu 2	40
Obrázek 10.4: Řešení kalkulačky pro Laboratorní úlohu 2	41
Obrázek 10.5: Ukázka správné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 2	42
Obrázek 10.6: Ukázka chybné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 2	42
Obrázek 11.1: Postup automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 3	44
Obrázek 11.2: Ukázka podmínky pro vyhodnocení objektu jako matici typu M6	44
Obrázek 11.3: Ukázka správné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 3	45
Obrázek 12.1: Ozubené kolo 1 (vlevo) a 2 (vpravo)	46
Obrázek 12.2: Stavový diagram pro Laboratorní úlohu 4	47
Obrázek 12.3: Postup části Roztřídění pro Laboratorní úlohu 4	47
Obrázek 12.4: Ukázka kroku detekce vnitřních děr ozubeného kola	48
Obrázek 12.5: Nastavení kroku detekce vnitřních děr	48
Obrázek 12.6: Postup části Oz1 pro Laboratorní úlohu 4	48
Obrázek 12.7: Ukázka kroku detekce ozubeného kola 1	49
Obrázek 12.8: Nastavení kroku detekce ozubeného kola 1	49
Obrázek 12.9: Ukázka kroku počet zubů 1	50
Obrázek 12.10: Nastavení kroku počet zubů 1	50
Obrázek 12.11: Řešení kalkulačky 1 pro Laboratorní úlohu 4	50
Obrázek 12.12: Postup části Oz2	51
Obrázek 12.13: Ukázka kroku počet zubů 2	51
Obrázek 12.14: Nastavení kroku počet zubů 2	52
Obrázek 12.15: Postup části Jiné Oz	52
Obrázek 12.16: Ukázka správné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 4	53
Obrázek 12.17: Ukázka chybné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 4	53
Obrázek 13.1: Vybraný LED pásek	55
Obrázek 13.2: Postup automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 5	55
Obrázek 13.3: Ukázka kroků Detekce první a poslední LED diody	56
Obrázek 13.4: Ukázka kroku detekce LED diod	56
Obrázek 13.5: Nastavení kroku Detekce LED diod	56

Obrázek 13.6: Řešení Kalkulačky pro Laboratorní úlohu 5	57
Obrázek 13.7: Ukázka správné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 5	58
Obrázek 13.8: Ukázka chybné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 5	58

Seznam tabulek

Tabulka 9.1: Rozměry matic	33
Tabulka 9.2: Vypočtené obsahy matic a zvolené minima a maxima	33
Tabulka 10.1: Průměry podložek a zvolené minima a maxima	39
Tabulka 12.1: Průměry vnitřních děr ozubeného kola a jejich minima a maxima	46

1 Úvod

Strojové vidění je využití kamer v průmyslu, pro zpracování obrazové informace nadřazeným systémem, ve kterém je vytvořen algoritmus a jeho výsledek pak ovlivňuje automatizované rozhodování stroje nebo informačního systému. Typicky se jedná o kontrolu kompletnosti a vady výrobku v rámci výrobní linky. Systém na základě obrazové informace vyhodnotí, které výrobky jsou správné nebo vadné.

Základním hardwarem pro strojové vidění je kamera, dalším již volitelným hardwarem dle úlohy je objektiv, filtr a osvětlovač. V praxi se jedná především o průmyslovou kameru, která se od klasické kamery liší odolností vůči vibracím, prachu, vyšším teplotám a svými vlastnosti rychlejšího přenosu dat, rozlišením a další. Průmyslová kamera je také konstruována tak aby na ni mohl být upevněn objektiv nebo filtr. Objektivy jsou optickou soustavou předřazenou kameře a slouží pro zaostření snímaného předmětu, filtry pro vyfiltrování nepotřebného nebo nechtěného pásma vlnových délek ze snímku, a osvětlovače pro nasvícení snímaného objektu a získání tak lepší kvality snímku.

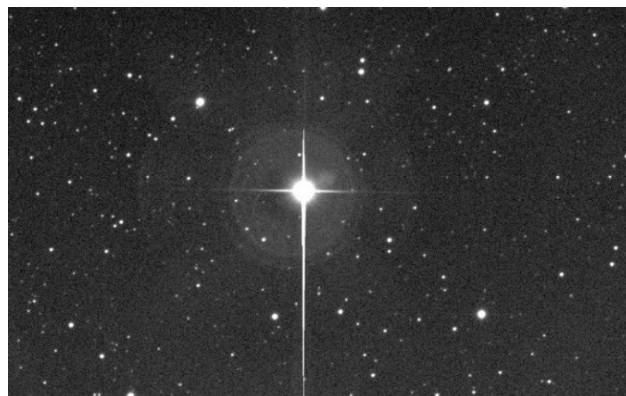
Nadřazeným systémem je software pro tvorbu automatických inspekci, které dokáží pomocí různých nástrojů řešit úlohy strojového vidění. Existuje několik těchto softwaru a tato práce je zaměřena konkrétně na software Vision Builder for automated Inspection (VBAI) od firmy National Instrument. VBAI je software často používaný v průmyslu pro realizaci středně složitých inspekci. Výhodou je že obsahuje předem vytvořené nástroje pro práci se snímkem a jde jen o to je vhodně použít a nastavit. Jednotlivé nástroje lze tak kombinovat a vytvořit tak plně funkční automatickou inspekci. Tento software obsahuje také různé nástroje pro komunikaci s nejrůznějšími zařízení pomocí sériové linky, Ethernetu a další, je také plně kompatibilní s hardwarem od firmy National Instrument a také i některými dalšími softwary od stejné firmy především s programátorským softwarem LabVIEW, který využívá pro programování grafický jazyk.

2 Typy snímačů

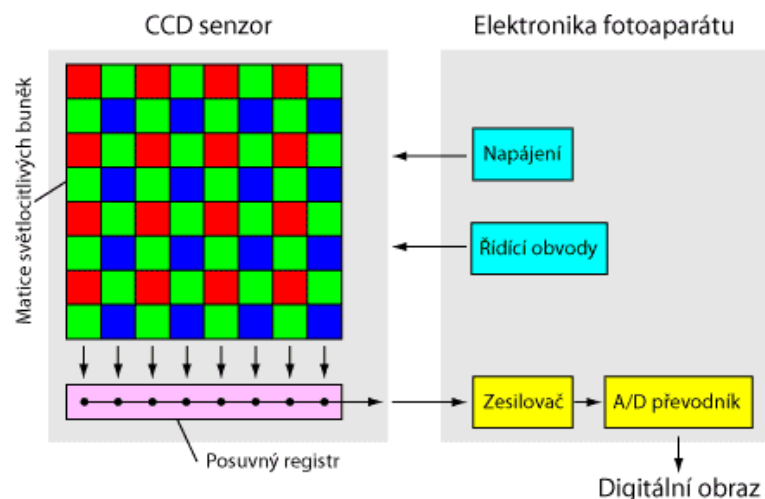
Základem každé kamery je snímač sestavený ze světlocitlivých buněk, které jsou usazeny v jamkách a nad nimi jsou umístěny čočky směřující světlo na buňku. Snímače jsou rozděleny na dva základní typy, dle způsobu získávání dat ze světlocitlivých buněk. [2]

2.1 CCD snímače

Jedná se o posuvný registr vystavený působení světla. Při dopadu světla na světlocitlivou buňku, se buňka naplní množstvím elektronů, které jsou přímo úměrné množství dopadajícího světla, a předá svou informaci další světlocitlivé buňce. Takto se množství elektronů posupně přesouvá, až na okraj, kde je posuvný registr, který předává informaci po jedné do zesilovače a A/D převodníku. Při předávání elektronů mezi světlocitlivými buňkami může dojít i k tzv. „blooming“ efektu, pokud na světlocitlivou buňku dopadá větší množství, než je její kapacita projeví se její nelinearita, tak že elektrony začnou přetékat do dalších světlocitlivých buněk, viz obrázek 2.1. [1],[2]



Obrázek 2.1: *Blooming CCD snímače* [3]

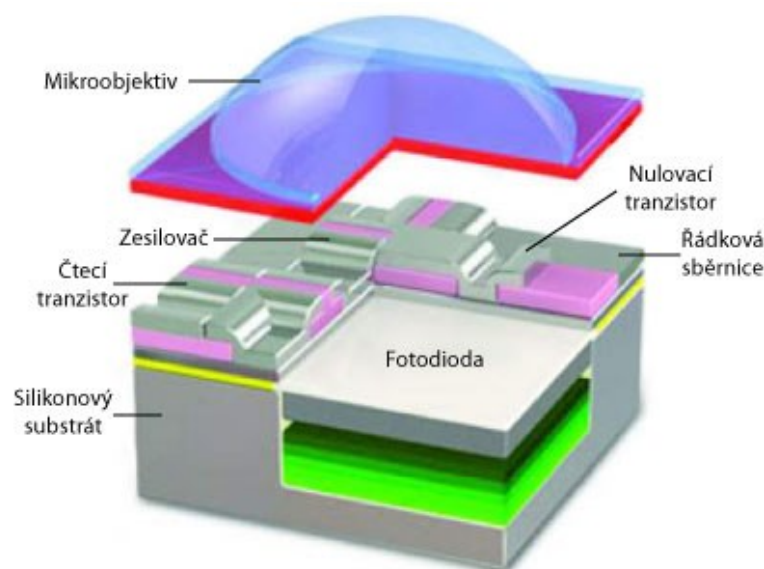


Obrázek 2.2: *Blokové schéma barevného CCD snímače* [2]

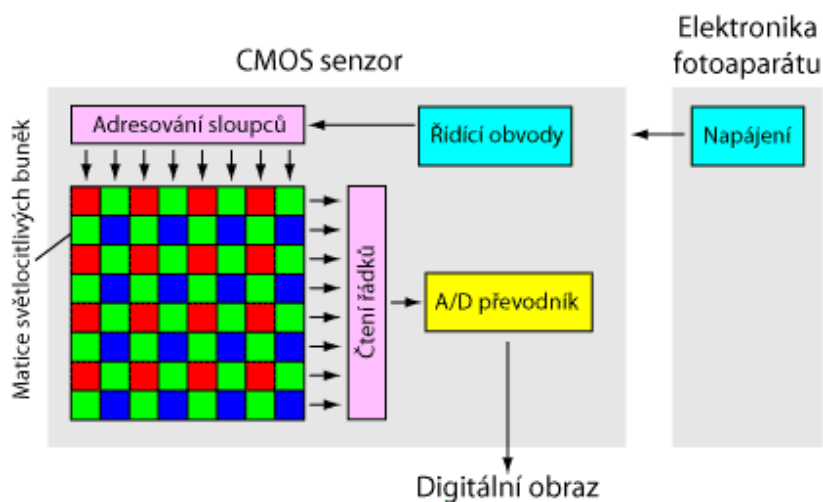
CCD snímače používají unikátní metodu výroby, proto je složité dosáhnout velkého rozlišení a integrovat elektroniku do snímače, zesilovač i A/D převodník se tedy nachází mimo snímač. CCD snímač vyžaduje i větší rozsah různého napětí, což má za následek vyšší spotřebu. CCD snímače mají lepší kvalitu odrazu, lepší dynamický rozsah, nízký šum. Nevýhody těchto snímačů je, pomalé čtení ze světlocitlivých buněk, velká složitost systému a vysoká cena. [1],[2]

2.2 CMOS snímače

CMOS technologie umožňuje do čipu integrovat pro každou světlocitlivou buňku zesilovač, každá buňka je tedy adresovaná pomocí X, Y souřadnic a lze z ní přímo číst, což celý proces zrychluje a snižuje spotřebu energie. Do čipu mohou být dále integrovány i další prvky nutné pro digitalizaci, ale zesilovač a další prvky zabírají část plochy světlocitlivé buňky a snižují tedy i světlocitlivou plochu celé buňky, to pak vyžaduje větší zesílení, a zvyšuje šum. Tyto negativní vlastnosti jsou řešeny pomocí mikročoček, které jsou umístěny nad jednotlivými pixely. Výhodou oproti CCD snímačům je, že vystupujícím signálem z čipu je digitální signál, celková složitost systému je tedy pak menší a levnější. Nevýhodou je průměrný dynamický rozsah, větší složitost samotného čipu a šum. [1],[2]



Obrázek 2.3: Světlocitlivá buňka CMOS snímače [2]



Obrázek 2.4: Blokové schéma barevného CMOS snímače [2]

3 Typy kamer

Kamery pro průmyslové využití lze podle tvaru snímacího prvku rozdělit na maticové a řádkové.

3.1 Maticové kamery

Standartní maticová kamera obsahuje plošný snímač, složený ze světlocitlivých buněk umístěných v matici. Díky tomu zvládne kamera zaznamenat větší plochu snímku, ale kvalita snímku je závislá na základních vlastnostech. Mezi základní vlastnosti patří typ snímače (CCD nebo CMOS), velikost a rozlišení snímače, rychlost snímání, barevná škála a další. Velikost snímače se udává v palcích a určuje i velikost světlocitlivé buňky, platí tedy, že větší snímač při stejném rozlišení má větší rozměr pixelů, nižší šum a obraz je kvalitnější, nevýhodou je ale větší ohnisková vzdálenost a větší, těžší a dražší objektivy. Rozlišení snímače udává počet pixelů na snímku a obecně platí, že rozlišení snímače musí být minimálně dvakrát větší než požadovaný nejmenší měřitelný rozměr. Rozlišení snímače se udává v jednotce Megapixel a v průmyslu většinou postačí rozlišení 2 Mpx. Rychlost snímání se uvádí v počtu snímku za sekundu (fps) a je důležitá především proto, aby bylo možné vybrat vhodnou kameru pro aplikaci kde je důležitá rychlost procesu. [1]



Obrázek 3.1: Průmyslová maticová kamera JAI GO [4]

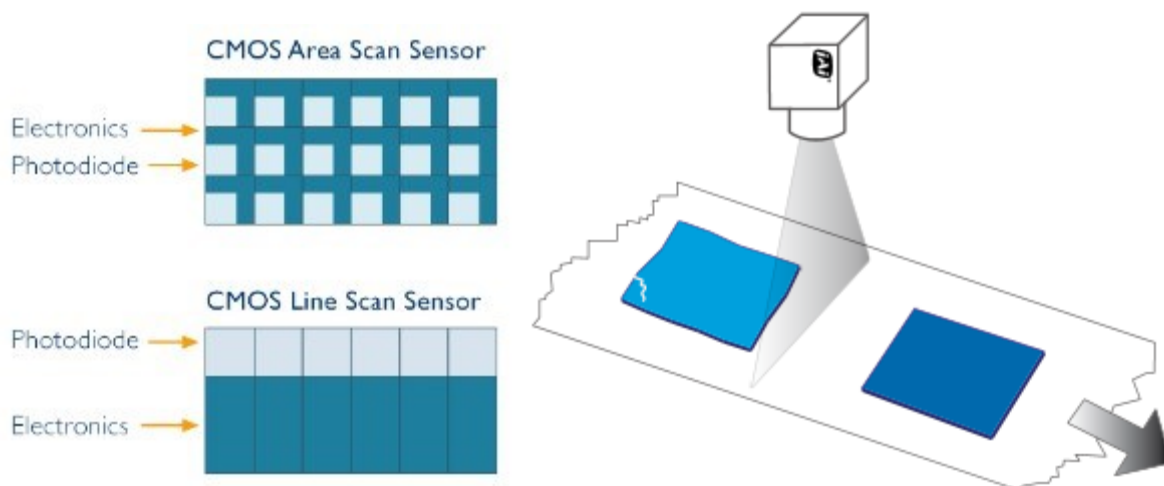
Maticové kamery lze dále rozdělit na kamery inteligentní a kamerové senzory. Inteligentní kamera obsahuje i pokročilý hardware a software pro zpracování snímků, kde výstupem vedle snímku je i jeho analýza. Kamerové senzory obsahují jednoduchý hardware a software pro zpracování snímků, ale výstupem je logický výstup. [1]



Obrázek 3.2: Inteligentní kamera National Instruments se zpracováním obrazu v kameře [5]

3.2 Řádkové kamery

Řádková kamera obsahuje snímač, který má celý řádek složený z jednotlivých světlocitlivých buněk a elektronika se nachází nad nebo pod ním. Snímač může být typu CCD nebo CMOS. Pro správnou funkci se předmět nebo kamera pohybují a kamera snímá řádek po řádku a skládá obraz dohromady, který posílá do vision systému, ten obraz dále zpracovává. Díky tomuto uspořádání pixelů může kamera snímat obraz velmi kvalitně a rychle. Pro nasvícení snímaného místa stačí jen liniové světlo, které soustředí světelný tok do úzké linky a může tak být velmi intenzivní nasvícení.[1],[7]



Obrázek 3.3: Struktura a princip řádkové kamery [7]

Oproti kameře s plošným snímačem je řádková kamera citlivější (až dvakrát, díky jinému umístění elektroniky), a proto dokáže obraz snímat rychleji a s krátkým expozičním časem. Řádková kamera má také lepší rozlišení, které závisí jen na frekvenci a době snímání kamery.

Řádkové kamery jsou především využívány pro kontrolu kvality materiálu, třídění potravin, inspekce LCD panelů, kontrolu barevného tisku a pro další aplikace, při kterých se předmět nebo kamera pohybuje. [7]



Obrázek 3.4: Řádková kamera RACER GIGE VISION od firmy Basler [6]

4 Komunikační rozhraní

Komunikační rozhraní je propojení mezi kamerou a počítačem pomocí určeného typu sběrnice, které umožňuje vzájemnou komunikaci. Každý typ sběrnice nabízí trochu jiné vlastnosti, při výběru kamery je tedy nutné znát vhodné komunikační vlastnosti pro určitý typ aplikace. Někteří výrobci kamer nabízí stejné modely kamer s různými typy komunikačního rozhraní, právě kvůli jeho vlastnostem. O správné volbě komunikačního rozhraní rozhoduje především rychlost přenosu dat, zpoždění mezi pořízením snímku a jeho doručení ke zpracování (latence), vzdálenost mezi počítačem a kamerou, způsob napájení, možnosti připojení více kamer, zatížení procesoru, cena a další. [1],[8]

4.1 USB 2.0

Rozhraní USB 2.0 je vhodné pro krátké vzdálenosti mezi počítačem a kamerou a pro nižší datový tok (malá přenosová rychlost. Umožňuje připojení napájení a komunikace jedním kabelem, ale proud je omezen pouze na 0,5 A a napájení je 5 V, což nemusí být pro průmyslové kamery dostačující. Rozhraní USB 2.0 není již v dnešní době pro průmyslové aplikace používáno, bylo nahrazeno novějším rozhraním USB 3.0. [1],[8]

4.2 USB 3.0

Rozhraní USB 3.0 je vylepšená verze rozhraní USB 2.0. Oproti Rozhraní USB 2.0 má lepší přenosovou rychlost až desetkrát (4800Mb/s), vyšší proud až 0,9 A, spolehlivost přenosu dat a nižší zatížení CPU počítače. Dalšími výhodami jsou snadné zapojení a nízká latence. Nevýhodou je krátká délka kabeláže (maximálně 5 m bez zesilovače) a obtížné připojení více kamer. Rozhraní USB 3.0 může umožňovat i použití DMA pro minimalizaci zátěže CPU počítače při přenosu velkých objemů dat. Pro možnost použití v systémech strojového vidění jako real-time zařízení (zařízení pracující v reálném čase), je pro USB 3.0 vyvinut protokol USB3 Vision. [1],[8]



Obrázek 4.1: Kamera s rozhraním USB 3.0 [8]

4.3 Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet je nejvíce rozšířené rozhraní, především díky vlastnostem přenosu, flexibilitě připojení (možnost i použití Wi-Fi) a nízké ceny kabeláže. Hlavními výhodami jsou možnost připojení více kamer a možnost delší kabeláže mezi počítačem a kamerou až 100 m (bez zesilovače). Gigabit Ethernet umožňuje také přenosovou rychlost až 1000 Mb/s a možnost vlastního napájení pomocí PoE s příkonem až 25,5W, který ale nemusí být dostačující, v takovém případě musí být použito externí napájení. Nevýhodou je, větší zatížení CPU počítače. [1],[8]



Obrázek 4.2: Kamera s rozhraním Gigabit Ethernet [8]

4.4 FireWire (IEEE1394)

FireWire je rozhraní, které bylo pro své vlastnosti dříve velice rozšířené a používané, ale dnes je již nahrazeno rozhraním USB 3.0 a používá se jen velice málo. Hlavními výhodami jsou, nízká zátěž CPU počítače, nízká latence, připojení více kamer a možnost napájení kamery pomocí rozhraní FireWire s hodnoty napětí 36 V a proudu až 1,5 A. Nevýhodami jsou, malá délka kabeláže až 4,5 m a menší. [1],[8]



Obrázek 4.3: Kamera s rozhraním FireWire [8]

4.5 Camera Link

Rozhraní Camera Link je určeno pro aplikace, kde je potřeba velké rozlišení a vysoká rychlost snímání. Výhodami jsou, vysoká přenosová rychlost dosahující až 6800 Mb/s v závislosti na typu, nízká latence a zatížení CPU počítače. Nevýhodami jsou, omezení délky kabelu až 10 m, nutnost použití speciální komunikační karty, která má společně s kabeláží vysokou cenu a složitější nastavení komunikace. Rozhraní Camera link nabízí také možnost vlastního napájení PoCL (Power over Camera Link), ale to je omezeno jen na 4 W. [1],[8]



Obrázek 4.4: Kamera s rozhraním Camera link [8]

4.6 CoaXPress

Rozhraní CoaXPress je nenovější rozhraní, jeho velkou výhodou je velmi vysoká přenosová rychlost až přes 3GB/s (při agregaci linek) a větší délka kabeláže přesahující 100 m. Dalšími výhodami jsou, nízká latence, nízká cena kabeláže (používá obyčejný koaxiální kabel) a možnost napájení pomocí rozhraní CoaXPress. Nevýhodou je potřeba speciální komunikační karty. [1],[8]



Obrázek 4.5: Kamera s rozhraním CoaXPress [8]

5 Objektivy a filtry

5.1 Objektivy

Objektiv slouží k zaostření snímaného objektu, například pro přesnější měření rozměrů, zobrazení drobných detailů a další. Objektiv se skládá s jedné nebo více čoček. Hlavním parametrem je ohnisková vzdálenost, která určuje pro danou velikost čipu úhel záběru a světelnost. Objektivy pro průmyslové kamery musí splňovat vysokou odolnost vůči vlivům průmyslového prostředí, kterými mohou být například nečistoty, prašnost a vibrace. Základní rozdělení objektivů je na normální objektiv, širokoúhlý objektiv a teleobjektiv. Objektivy se pak často vybírají na míru dle typu použité kamery a vlastností snímané aplikace.

Normální objektiv

Normální objektivy mají standartní úhel záběru asi 50° , podobně jako lidské oko.

Širokoúhlý objektiv

Širokoúhlý objektiv má kratší ohniskovou vzdálenost a snímek má tím pádem širší záběr.

Teleobjektiv

Teleobjektivy mají větší ohniskovou vzdálenost, užší zorný úhel a jsou vhodné pro vzdálenější předměty. [1],[10]

5.2 Filtry

Filtry slouží k propuštění definovaného rozsahu vlnové délky a zvýraznění tak detekovaného objektu, nebo pro potlačení nechtěných pásem vlnových délek, například pro odstranění odlesků.

Pásmové a barevné filtry

Pásmové filtry slouží k propuštění definovaného rozsahu vlnové délky a blokování všech ostatních, zatímco barevné filtry propouštějí pouze vlnovou délku, která odpovídá barvě filtru. Tyto filtry, tedy propouštějí jen určité pásmo vlnových délek a zlepšují tak přesnost měření, zobrazení a zvýšení kontrastu.

Long nebo Short pass filtry

Tyto filtry propouštějí pouze dlouhé nebo krátké vlnové délky, než je definovaná hraniční vlnová délka.

Neutrální šedé filtry

Neutrální šedé filtry snižují propustnost světla v celém viditelném spektru a nemění ostrost ani zbarvení obrazu. Tyto filtry se používají pro zabránění saturace snímáče, například v aplikacích kde je snímán zdroj světla.

Polarizační a UV-IR filtry

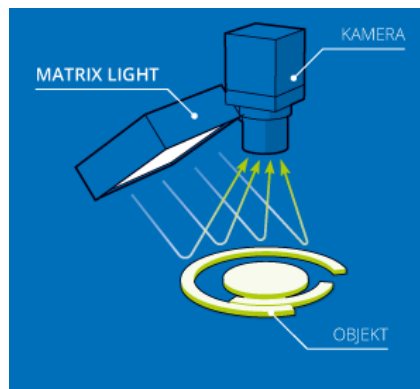
Polarizační filtry odstraňují oslnění snímáče vlivem odrazu světla od snímaného objektu. UV-IR filtry blokují UV a NIR spektrum. [9]

6 Osvětlovače

Osvětlení snímaného objektu je jednou z nejdůležitější částí ve strojovém vidění. Pro každou aplikaci musí být předem zvolen typ osvětlovače a případně hodnota jasu vyzařovaného světla. O volbě správného osvětlení snímaného objektu rozhodují vlastnosti snímače (rozsah vlnových délek, velikost snímače, možnosti zesílení signálu,...), snímaného objektu (odraz záření od objektu, absorpce záření, poloha objektů a záření prošlé objektem) a záření (intenzita osvětlení, pozice zdroje, vlnová délka,...). Zdrojem světla osvětlovače jsou v dnešní době nejčastěji LED diody a lasery. Osvětlovače jsou rozděleny do několika základní typů a u každého je možné regulovat jeho intenzitu vyzařovaného světla, většinou pomocí univerzálního kontroléru. [1]

6.1 Plošné osvětlovače

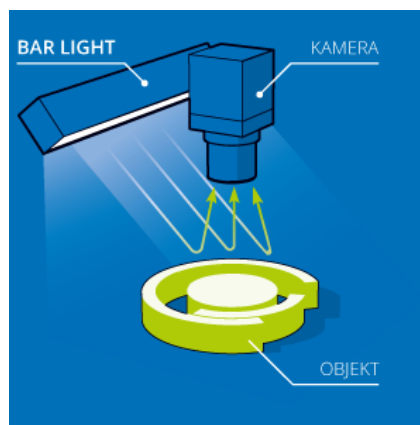
Plošné osvětlovače jsou využívány jako zdroj směřového světla, pro nasvícení celého nebo větších ploch objektů. Vyrábí se i malé a speciální plošné osvětlovače, které slouží jako pomocné osvětlení. [1]



Obrázek 6.1: *Plošné osvětlení* [11]

6.2 Liniové osvětlovače

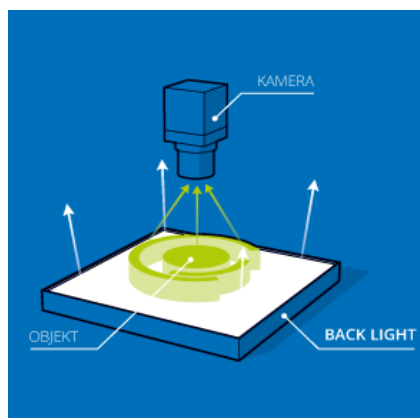
Liniové osvětlovače jsou využívány pro aplikace, kde jsou využívány řádkové kamery, dokáží nasvítit přímo snímanou část objektu linkou a při použití cylindrické čočky i úzkou linku zorného pole kamery. Vyrábějí se i výkonnější varianty tohoto typu osvětlovače a ty jsou vhodné zejména pro osvětlení velkých částí ploch nebo celého objektu. [1]



Obrázek 6.2: *Liniové osvětlení* [12]

6.3 Back-light osvětlovače

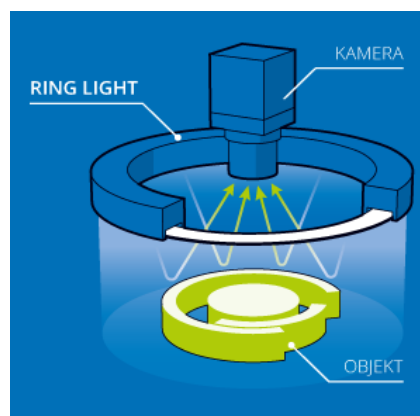
Back-light osvětlovače jsou využívány pro podsvícení snímaného objektu a zobrazení tak jeho obrysu. Při použití back-light osvětlovače je na snímku vidět celý objekt a jeho tvar a pozadí je bílé je tedy možné kontrolovat kompletnost výrobku a jeho případné defekty. [1]



Obrázek 6.3: *Back-light osvětlovač* [14]

6.4 Prstencové osvětlovače

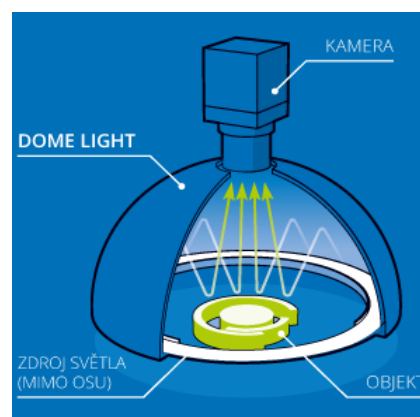
Prstencové osvětlovače slouží k osvětlení v ose objektivu. Osvětlovač je ve tvaru prstence obepínajícího objektiv kamery, poskytuje tak více rozptýlené světlo směřující od objektivu kamery a slouží pro osvětlení s jasným obrazovým polem a rozptýleným světlem. Tento typ osvětlovače může být integrován do kamerových senzorů. Nevýhodou je obtížného dosažení rovnoměrnosti osvětlení objektu, která je závislá na vhodné vzdálenosti kamery od objektu. [1]



Obrázek 6.4: Prstencové osvětlení [13]

6.5 Kupolovitě osvětlovače

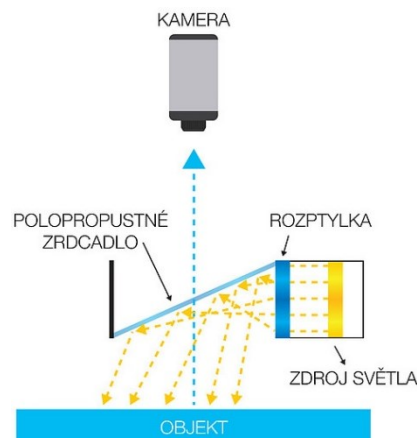
Kupolovitě osvětlovače slouží k homogennímu nasvícení snímaného objektu ze všech stran, tak aby se nikde na objektu nevyskytoval stín. Osvětlovač je ve tvaru prstence, který je umístěn uvnitř polokoule mimo osu kamery a osvětlení objektu je realizováno pomocí odrazu světla od vnitřku polokoule po celém objektu. [1]



Obrázek 6.5: Kupolovitě osvětlení [15]

6.6 Difúzní koaxiální osvětlovače

Difúzní koaxiální osvětlovač slouží k osvětlení objektu pomocí odrazu světla od polopropustného zrcadla je tak dosaženo rovnoběžného osvětlení objektu s osou objektivu. Před kamerou je umístěn difuzor (rozptylka), který zajišťuje lepší rozptýlení světla na polopropustné zrcadlo. Používá se pro osvětlení lesklých ploch, čtení textu a snímání kódů. Při použití telestetického objektivu je vhodný i pro přesné měření kontur a siluet. [1]



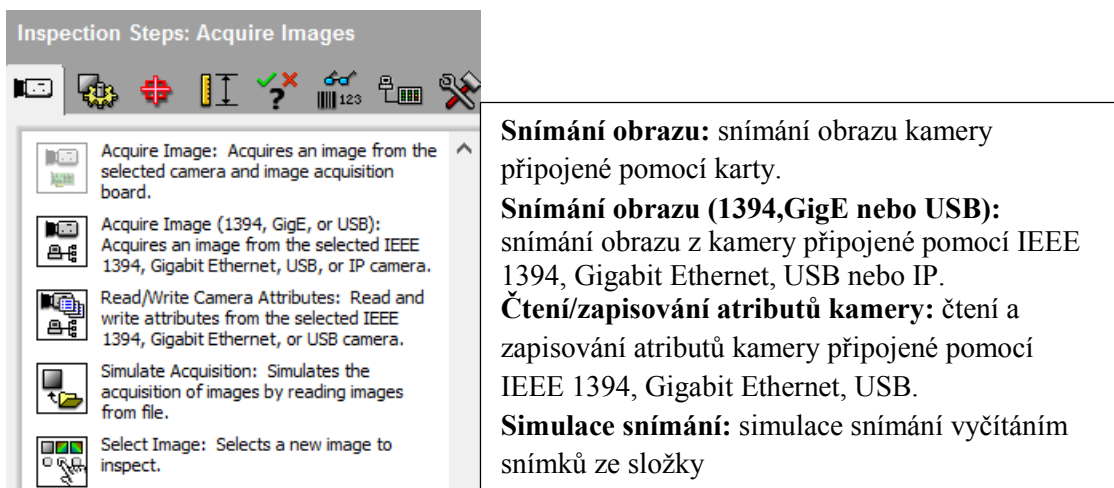
Obrázek 6.6: Difúzní koaxiální osvětlení [16]

7 Vision Builder for Automated Inspection (VBAI)

VBAI je program pro vytváření automatických inspekcí, umožňuje komunikaci s kamerou reálném čase nebo pomocí manuálně vytvořených snímků. Obsahuje 4 hlavní části, první částí je hlavní okno, ve kterém je zobrazen zpracovávaný snímek, druhou částí stavový digram, pro rozdělení inspekce do jednotlivých částí. Třetí částí je konfigurační okno inspekce, které obsahuje sekvenci použitých kroků (postup inspekce) a poslední 4 částí je Paleta inspekčních kroků obsahující nástroje pro práci se snímkem, rozdělené do jednotlivých palet dle funkce. [20]

7.1 Nástroje pro vyčítání snímků

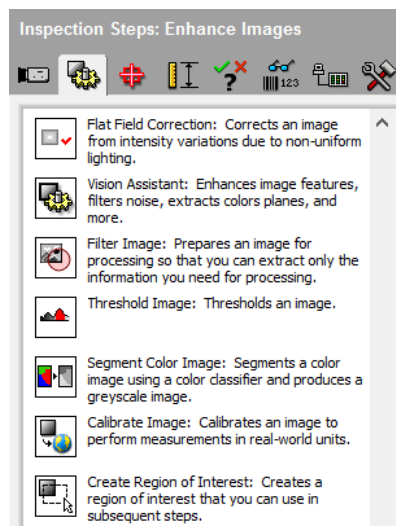
Nástroje pro vyčítání snímku se nachází v první paletě inspekčních kroků. Tyto nástroje umožňují vyčítání snímku pomocí připojené kamery nebo snímku dříve pořízených a uložených v souboru. Při vyčítání snímků je nutné zvolit správnou kameru a případně v druhé záložce nastavit její parametry, dále je také možné zvolit, zda kamera bude běžet v reálném čase nebo zda budou snímky vytvářeny manuálně. Při vyčítání ze souboru je nutné nastavit cestu k souboru, po té bude při spouštění projitá postupně celá složka.



Obrázek 7.1: Nástroje pro vyčítání snímků

7.2 Nástroje pro upravení snímku

Nástroje pro úpravu snímku se nachází v druhé paletě inspekčních kroků. Umožňují různé úpravy snímku, kterými jsou například převedení barevného snímku na černobílý, zvýraznění obrazových rysů, různé filtry, kalibraci snímku a další.



Korekce plochého pole: korekce intenzity obrazu v důsledku nerovnoměrného osvětlení.

Obrazový asistent: zlepšení vlastností obrázku, filtry šumu, extrahování barev a další.

Filtr obrázků: filtrování obrazu, tak aby byly získány jen potřebné informace pro proces

Binarizace obrázku

Segmentace barevného obrazu: Segmentace barevného obrazu použitím klasifikace barev a výsledkem je černobílý obraz.

Kalibrace obrazu: kalibrace obrázku pro měření v reálných hodnotách.

Vytvoření oblasti zájmu: Vytvoření oblasti zájmu, kterou je možné použít v dalším kroku.

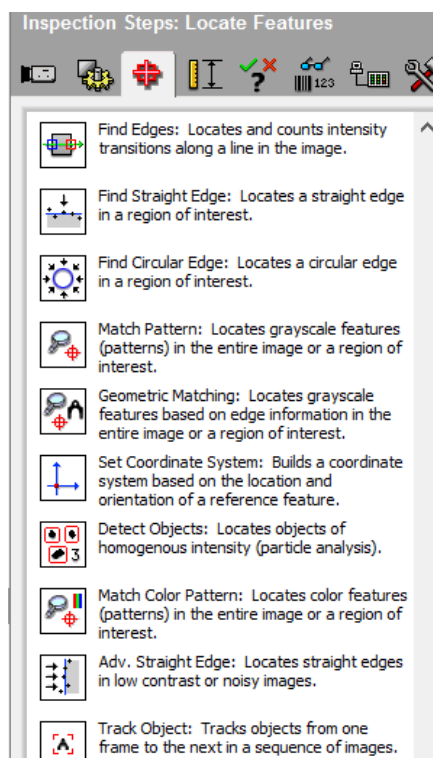
Obrázek 7.2: *Nástroje pro úpravu snímků*

7.2.1 Kalibrace snímků

Kalibrace snímku umožňuje převést rozměry z pixelů na reálnou jednotku. Pro kalibraci je nutné si nejprve vytvořit vhodný kalibrační obrazec a dle typu obrazce zadat parametry. Jednou z možností je i natavení vzdálenosti dvou bodů vytvořených v kalibračním obrazci.

7.3 Nástroje pro určení charakteristiky snímků

Nástroje pro určení charakteristiky snímků se nachází v třetí paletě inspekčních kroků. Jedná se především o nástroje, které dokáží ve stanoveném regionu zájmu vyhledat přechod intenzity a určit jeho parametry a polohu.



Nalezení hran: vyhledá a spočítá přechodů intenzity na stanovené úsečce.

Nalezení rovné hrany: vyhledá ve stanovené oblasti rovnou hranu.

Nalezení kruhové hrany: vyhledá ve stanovené oblasti kruhovou hranu.

Nalezení shody: nalezení shody s předdefinovaným vzorem

Geometrická shoda: nalezení shody s předdefinovaným vzorem na základě jeho tvaru.

Nastavení koordinačního systému: vytvoření koordinačního systému na pozici referenčního bodu

Detekce objektu: nalezení objektu homogenní intenzity

Nalezení barevné shody: nalezení shody s předdefinovaným barevným vzorem

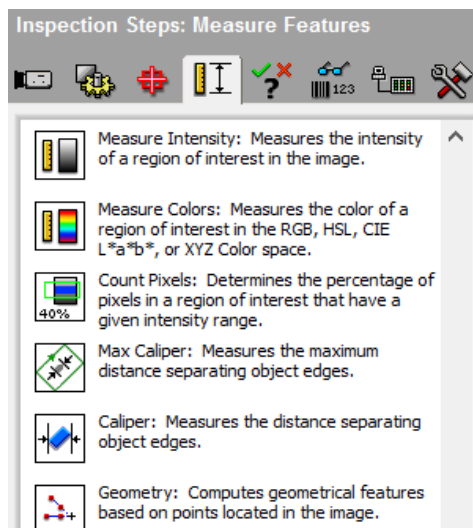
Nalezení rovné hrany: vyhledá ve stanovené oblasti rovnou hranu s nízkým kontrastem nebo vysokým šumem

Sledovat objekt: sledování pohybujícího se objektu

Obrázek 7.3: *Nástroje pro určení charakteristiky snímků*

7.4 Nástroje pro měření

Nástroje pro měření se nachází v čtvrté paletě inspekčních kroků. Umožňují měření intenzity, barev, vzdálenosti mezi hranami objektu a sestavení bodů v obrazu.



Měření intenzity: měření intenzity ve stanovené oblasti zájmu.

Měření barev: měření barev ve stanovené oblasti zájmu.

Počet pixelů: sečtení počtu pixelů v procentech ve stanovené oblasti zájmu s definovaným rozsahem intenzity.

Maximální posuvné měřítko: měření maximální vzdálenosti dvou hran

posuvné měřítko: měření vzdálenosti dvou hran

Geometrie: vypočítá geometrické vlastnosti založené na poloze bodů v obrazu

Obrázek 7.4: Nástroje pro měření

7.5 Nástroje pro kontrolu přítomnosti

Nástroje pro kontrolu přítomnosti se nachází v páté paletě inspekčních kroků. Paleta obsahuje nástroje z předešlých kroků a je doplněna nástroji pro porovnání barev, detekování defektů, inspekci obrysů a detekování povrchového defektu.



Nalezení barev: porovnání barev ve stanovené oblasti zájmu s referenčním barevným spektrem.

Inspekce kontur: Analyzování kontur objektu pro odhalení defektů.

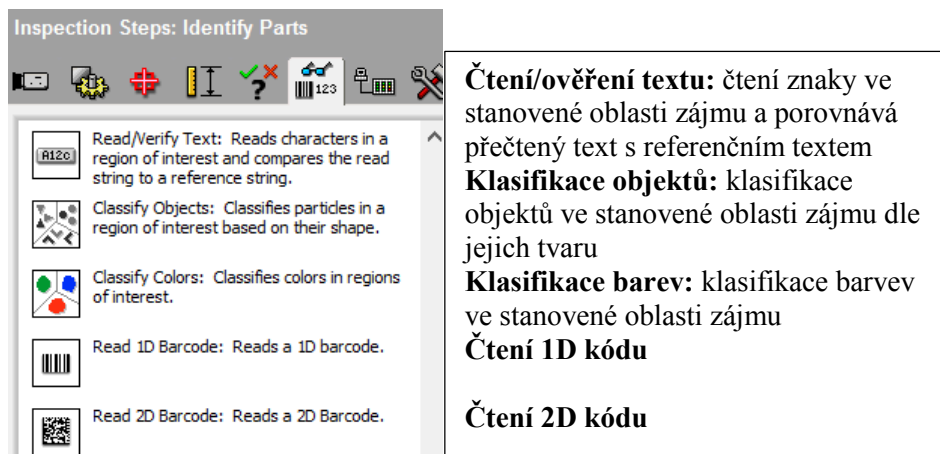
Detekce defektů: porovnání části obrazu s definovanou šablonou a vrácení rozdílů.

Detekce povrchového defektu: detekování defektu v povrchovém obrázku

Obrázek 7.5: Nástroje pro kontrolu přítomnosti

7.6 Nástroje pro rozpoznání částí

Nástroje pro rozpoznání částí se nachází v šesté paletě inspekčních kroků. Palata obsahuje nástroje pro čtení textu, klasifikování objektů, klasifikování barev a čtení 1D a 2D kódu.



Obrázek 7.6: Nástroje pro rozpoznání částí

7.7 Nástroje pro komunikaci

Nástroje pro komunikaci se nachází v sedmé paletě inspekčních kroků. Palata obsahuje nástroje pro komunikaci se vstupy a výstupy pomocí různých typů sběrnic (Ethernet, Modbus, sériová linka, server), všechny nástroje umožňují čtení i zápis.

7.8 Další nástroje

Další nástroje se nachází v osmé paletě inspekčních kroků. Paleta obsahuje zbylé doplňující nástroje, které pracují se získanými daty z přechozích kroků. Jedná se o nástroje vyhodnocení inspekce, kalkulačku, logickou kalkulačku, definování a nastavení proměnných, práce s poli, komunikaci s programem LabVIEW, zobrazení dat na obrazovku, zpoždění, čtení a zápis dat a další.

7.8.1 Vyhodnocení inspekce

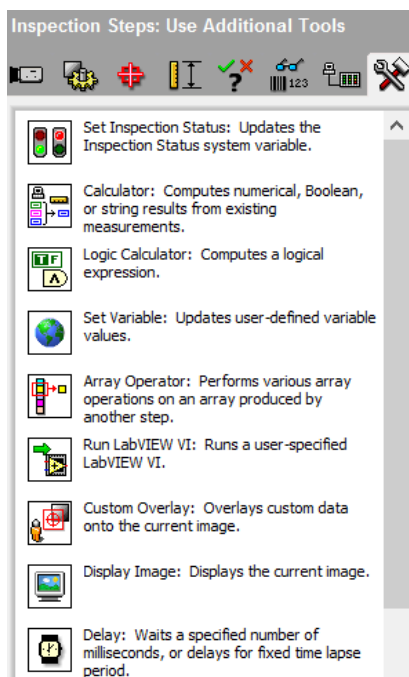
Nástroj vyhodnocení inspekce umožňuje určit, zda je inspekce správná anebo nesprávná. Každý krok inspekce má svůj výsledek správný či nesprávný a na základě toho lze nastavit vyhodnocení inspekce na určité podmínky. Výchozí podmínkou je, pokud je jakýkoliv předchozí krok nesprávný je i celá inspekce nesprávná a další podmínku lze nastavit na jeden z kroků inspekce.

7.8.2 Kalkulačka

Kalkulačka je nástroj využívající matematické operace pro stanovení parametrů inspekce. Ke své práci využívá grafický programovací jazyk programu LabVIEW. Po kliknutí na tento nástroj se otevře další okno pro naprogramování vhodného kódu kalkulačky a v paletě je možnost nastavení vstupů, výstupů a zkontrolování si výpočtů.

7.8.3 Vypsání dat na obrazovku

Vypsání dat na obrazovku umožňuje zobrazit data na obrazovku, kterými mohou být získané výsledky z předešlých kroků. U zobrazovaných dat lze nastavit jejich pozici, která se může vázat i na parametr předchozího kroku například střed objektu, parametry písma a parametr z předchozího kroku, který má být zobrazen.



Nastavení statusu inspekce: aktualizace proměnného statusu inspekce.

Kalkulačka: Vyhodnocení numerických, logických nebo textových výsledků z naměřených dat.

Logická kalkulačka: vyhodnocení logické funkce.

Nastavení proměnné: aktualizace uživatelem nastavené proměnné.

Operátor pole: provedení různých operací s vytvořeným polem z předchozího kroku.

Spuštění LabVIEW VI: spuštění uživatelem nastaveného LabVIEW VI.

Vlastní překrytí: překrytí obrázku nastavenými daty.

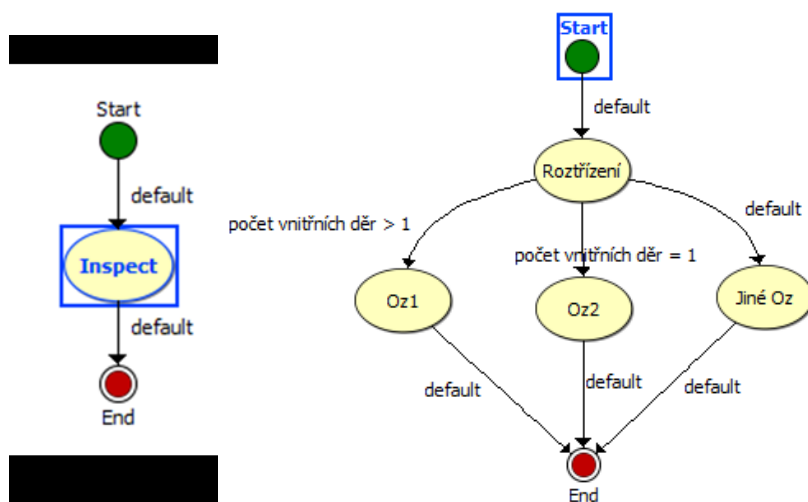
Zobrazení obrázku: zobrazení aktuálního obrázku

Zpoždění: Zpoždění inspekce o nastavený čas v milisekundách při každém kroku.

Obrázek 7.7: Další nástroje

7.9 Stavový diagram

Pomocí stavového diagramu lze celou inspekci rozdělit do jednotlivých částí, kde každá část má svou inspekci a svou podmínku pro vykonání. Podmínka lze nastavit dle získaných dat z předchozích kroků. Stavový diagram se nachází v pravé horní části programu VBAI. [20]



Obrázek 7.8: Základní a rozšířený stavový diagram

8 Použitý hardware

8.1 Kamera

V laboratorních úlohách je s ohledem na snadnou dostupnost a cenu použita webová kamera Microsoft LifeCam Studio s rozlišením videa 1920×1080 (Full HD), automatickým zaostřením a funkcí TrueColor pro jasná a barevná videa za všech světelných podmínek. Jedná se sice pouze o webkameru, ale pro laboratorní úlohy, které nejsou realizovány v průmyslovém prostředí je dostačující. Kamera byla vybrána především díky svým vlastnostem vysokého rozlišení, automatického zaostření a nízké ceny. [17]



Obrázek 8.1: Webová kamera Microsoft LifeCam Studio [17]

8.2 Osvětlení

Pro nasvícení objektů je v laboratorních úlohách použit Back-light osvětlovač v kombinaci s univerzálním kontrolérem CM-01 Mini od společnosti Smart View, pro optimální nastavení jasu osvětlovače. Zdrojem světla použitého osvětlovače jsou LED světla.

8.2.1 Back-light BL-130W

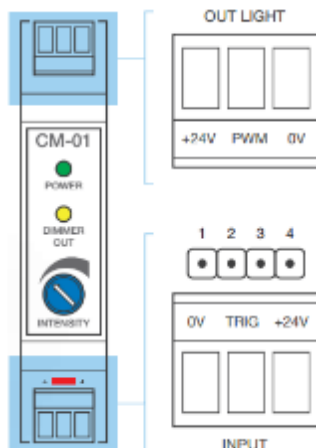
Použitý Back-light osvětlovač BL-130W slouží v laboratorních úlohách pro podsvícení snímaného objektu a zvýraznění jeho tvarů a kontur, tak aby bylo možné určit v automatické inspekci jeho parametry (rozměry, počet děr a další). Osvětlovač BL-130W má napájecí napětí 24 V, příkon 7,6W, rozměry aktivní plochy 130 x 130 mm a barva vyzařovaného světla je bílá. [18]



Obrázek 8.2: Back-light osvětlovač BL-130W [18]

8.2.2 Univerzální kontrolér CM-01 Mini

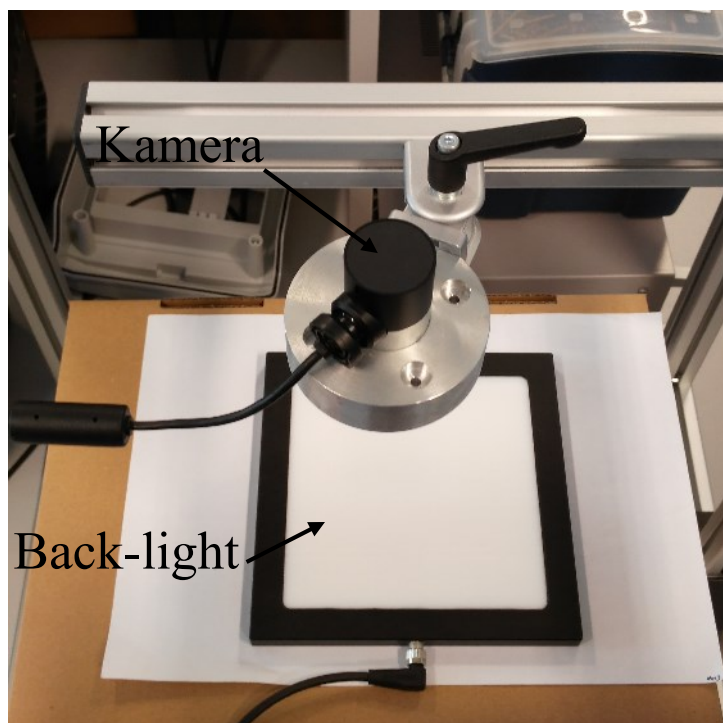
Univerzální kontrolér CM-01 Mini slouží ke kontrole intenzity osvětlení všech světel Smart společnosti View s napájecím napětím 24 V. [19]



Obrázek 8.3: Univerzální kontrolér CM-01 Mini [14]

8.3 Sestavení hardwaru

Hardware byl sestaven, tak jak je zobrazeno na obrázku 8.4. Kamera snímá obraz z hora a pod ní je ve vhodné vzdálenosti umístěn back-light osvětlovač BL-130W, na jehož aktivní plochu byly umísťovány předměty pro snímání. Vhodnou vzdáleností se rozumí tak, aby kamera dokázala zaznamenat předměty vložené na back-light osvětlovač. Hardware je takto sestavený pro Laboratorní úlohu 1 až 4, u Laboratorní úlohy 5 je ze sestavení odstraněn back-light, protože tato Laboratorní úloha nepotřebuje osvětlení.



Obrázek 8.4: Sestavení hardwaru

9 Laboratorní úloha 1 - Roztřídění matic M6 – M12

Cílem této úlohy je roztřídit matice M6 až M12 dle velikosti.

9.1 Zadání

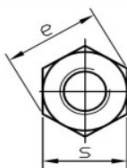
Vytvořte automatickou inspekci, která roztřídí matice M6 až M12 dle velikosti a vypíše jejich počet a indexy.

9.2 Návrh řešení

Pro roztřídění matic bylo nutné zvolit vhodný parametr, podle kterého budou matice roztříděny dle velikosti na M6-M12 a umožní rozeznat chybný objekt, kterým může být podložka nebo matice se zbroušenou hranou. Celkem byly k dispozici 3 parametry, je to průměr vnitřní díry matice, rozměr matice a obsah celé matice, bez odečtení vnitřní díry matice. Při použití vnitřního průměru by muselo být zajištěno, že se na snímku neobjeví objekt podobného charakteru například podložka se stejným průměrem vnitřní díry, jako jsou vybrané typy matic. V tom případě, by podložka byla detekována a roztříděna jako matice a dále by bylo složité zjistit, zda matice nemá zbroušenou hranu.

Pokud by byl použit parametr, rozměr matice nastává problém v případě matice M10 a M12 kdy se rozměry e matice M10 a s matice M12 liší o desetinu milimetru, jak lze vidět v tabulce 9.1, mohlo by tedy v inspekci dojít ke špatnému vyhodnocení typu matice a rovněž by nebylo možné zjistit, zda matice nemá zbroušenou hranu.

Tabulka 9.1: Rozměry matic [21]

	M6	M8	M10	M12
s (mm)	10,0	13,0	17,0	19,0
e (mm)	11,1	14,4	18,9	21,1

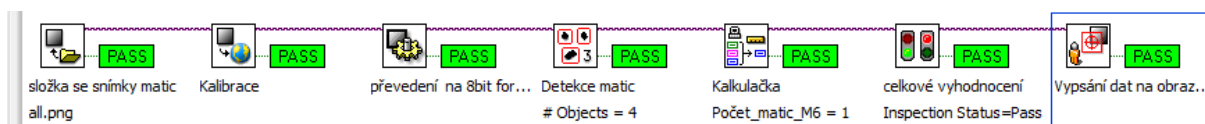
Jako vhodný parametr pro řešení byl, tedy vybrán obsah celé matice, bez odečtení vnitřní díry matice. Obsah byl vypočten pomocí parametrů z předchozí tabulky a na základě zkoušek měření pomocí kamery byly zvoleny minima a maxima pro porovnání hodnot v kalkulačce. Tento parametr umožňuje inspekci rozeznat i chybný objekt.

Tabulka 9.2: Vypočtené obsahy matic a zvolené minima a maxima

označení	M6	M8	M10	M12
Obsah (mm ²)	86,60	146,36	250,28	312,64
Minimum (mm ²)	80,00	135,00	240,00	305,00
Maximum (mm ²)	90,00	155,00	261,00	330,00

9.3 Postup

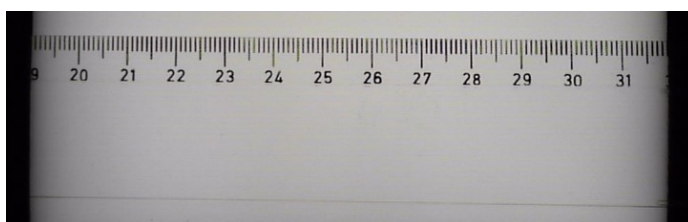
Nejprve je nutné získat obraz z kamery, zde je ale použito pro ukázkou vyčítání předem vytvořených snímků ze souboru. Snímek je následně zkalibrován dle vhodného kalibračního obrazce a pomocí kroku obrazový asistent upraven na 8bitový formát. Následuje detekování objektů pomocí kroku detekce matic a předání jednotlivých obsahů objektů, které jsou v dalším kroku kalkulačka porovnávány a vyhodnoceny jako matice nebo chybné objekty. Nakonec je použito celkové vyhodnocení správnosti celé inspekce a vypsání dat na obrazovku. Celá inspekce je naprogramována maximálně pro 16 objektů.



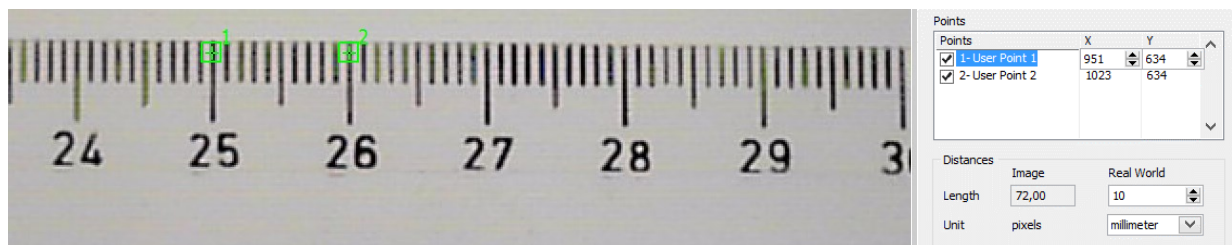
Obrázek 9.1: Postup automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 1

9.3.1 Kalibrace

Kalibrace byla provedena pomocí vytvořeného kalibračního obrazce. Kalibrační obrazec byl vytvořen pomocí snímku pravítka vloženého na back-light osvětlovač. Do kroku kalibrace byl pak zadán rozměr 10 milimetrů. Celý kalibrační obrazec je k dispozici v příloze na CD.



Obrázek 9.2: Vytvořený kalibrační obrazec pomocí pravítka



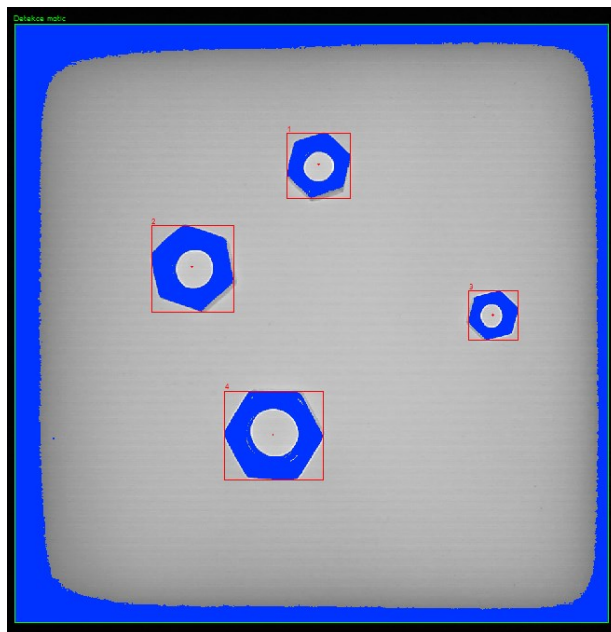
Obrázek 9.3: Zadání parametrů kalibračního obrazce

9.3.2 Převedení na 8 bitový formát

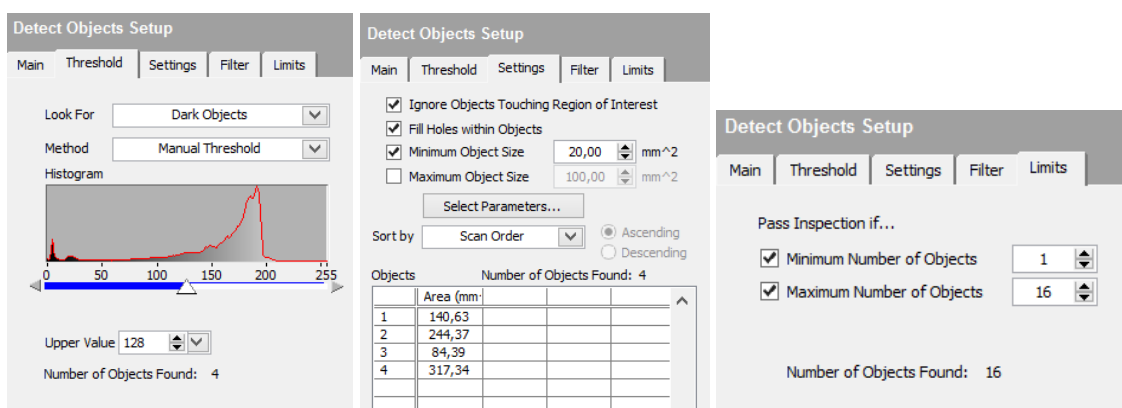
Snímek je pomocí tohoto kroku obrazový asistent převeden z 32 bitového formátu na 8 bitový formát. Pro převedení je vybrána zelená složka z RGB snímku a snímek se stává černobílým, což je vhodné pro následující krok.

9.3.3 Detekce matic

Tento krok detekuje tmavý objekt ve stanovené oblasti zájmu, který je větší než 20 mm². Detekovanému objektu je přidělen index, zobrazen jeho střed a je vyhodnocen jeho obsah bez odečtení vnitřní díry matice, který je zpracováván v dalším kroku. Minimální počet objektů je nastaven na 1 a maximální na 16.



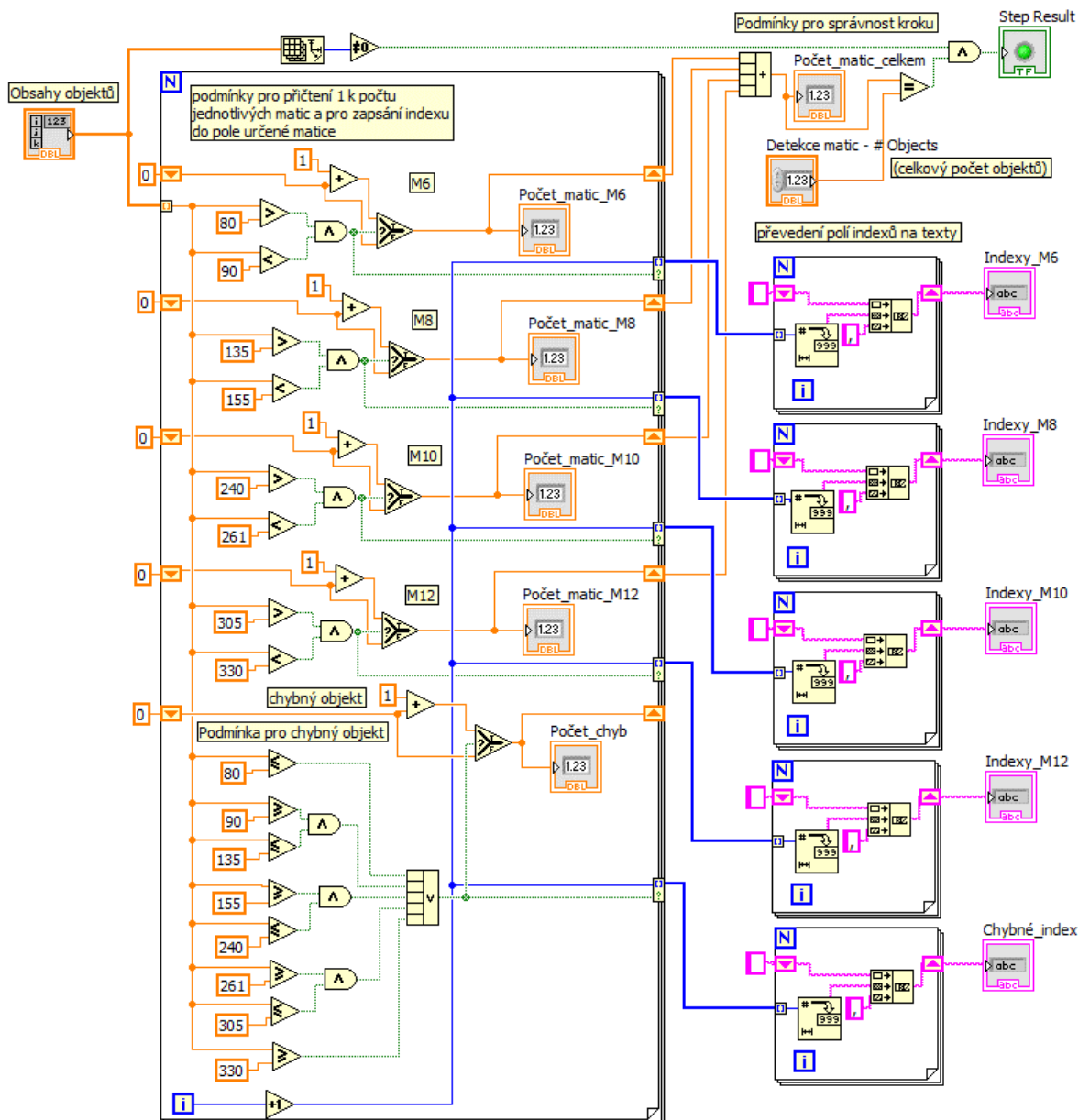
Obrázek 9.4: Ukázka kroku detekce matic pro Laboratorní úlohu 1



Obrázek 9.5: Nastavení kroku detekce matic pro Laboratorní úlohu 1

9.3.4 Kalkulačka

V kalkulačce jsou porovnávány jednotlivé obsahy detekovaných objektů. Každý obsah je porovnáván minimální a maximální hodnotou obsahu dle tabulky 9.2. Pokud je obsah objektu v mezích hodnot minimálního a maximálního obsahu jednotlivé matice, připočte se 1 k počtu určené matice a tím je splněna i podmínka pro zapsání aktuálního indexu do pole určené matice, které je následně převedeno do textové formátu a rozdělovačem mezi indexy je „čárka“. Objekty, které nejsou v mezích minimálního a maximálního obsahu jednotlivých matic, jsou vyhodnoceny jako chybné objekty. U chybných objektů je rovněž řešen jejich počet a indexy, podobně jako u jednotlivých typů matic. Vyhodnocení celého kroku je správné, pokud je počet detekovaných objektů větší než 1 a zároveň pokud je součet všech jednotlivých počtů matic roven celkovému počtu objektů.



Obrázek 9.6: Řešení kalkulačky pro Laboratorní úlohu 1

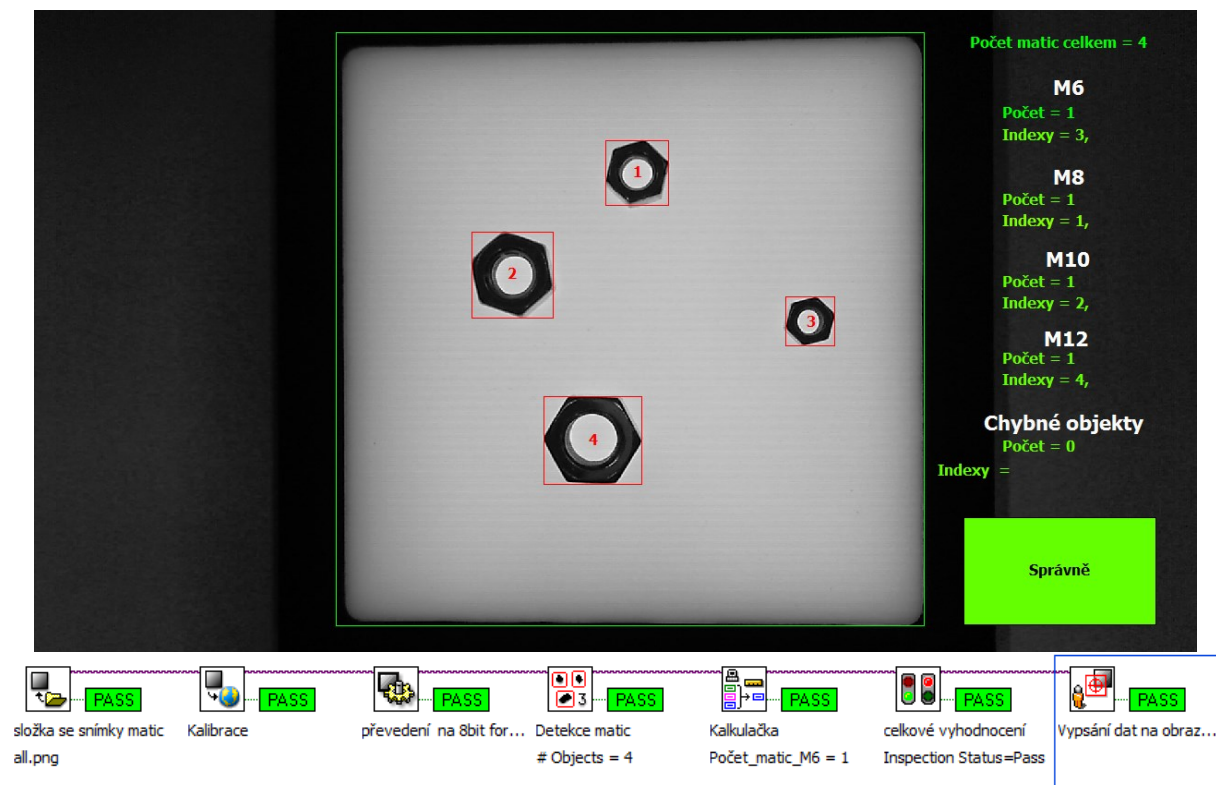
9.3.5 Celkové vyhodnocení

Celkové vyhodnocení je nastaveno tak, že pokud nastane chyba v jakémkoliv z předchozích kroků, bude celá inspekce vyhodnocena jako chybná.

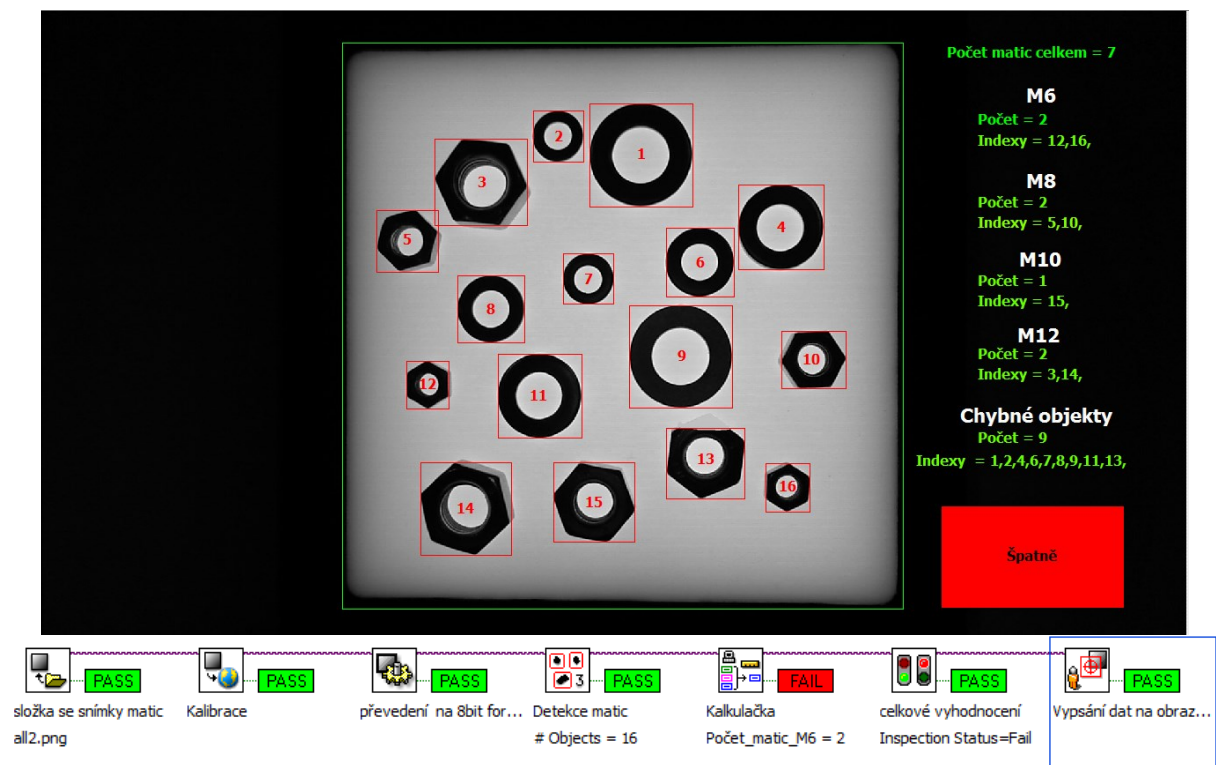
9.3.6 Vypsání dat na obrazovku

Data jsou převzata z předchozího kroku a vypsány v pravé části obrazovky. Vypsányi daty jsou počet matic celkem, počet a indexy jednotlivých matic a chybných objektů a celkové vyhodnocení inspekce. Pomocí tohoto kroku jsou i označeny detekované objekty jednotlivými indexy uprostřed objektu, tyto indexy a středy objektů jsou převzaty z kroku detekce matic a celá inspekce je naprogramována až pro 16 indexových označení matic.

9.4 Ukázky automatické inspekce



Obrázek 9.7: Ukázka správné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 1



Obrázek 9.8: Ukázka chybné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 1

9.5 Závěr k Laboratorní úloze 1

Tato automatická inspekce řeší rozřídění matic M6 až M12 pomocí obsahů detekovaného objektu bez odečtení vnitřního průměru. Po detekování objektů a rozřídění matic a chybných objektů, pomocí kalkulačky, se vyhodnotí správnost inspekce a vypíší se data v pravé části obrazovky. Vypsány mi daty jsou počet matic celkem, počet a indexy jednotlivých matic a chybných objektů, a nakonec status inspekce. Status inspekce je správný, jen pokud nebyl nalezen ani 1 chybný objekt a zároveň pokud není počet nalezených objektů roven 0. U inspekce je tedy řešena i možnost přítomnosti jiného objektu než je matice, především podložky, která je detekována jako chybný objekt. V případě že se na snímku vyskytne matice se zbrošenou hranou, bude také detekováno a vyhodnocena jako chybný objekt. Celá inspekce je omezena maximálně pro 16 objektů.

10 Laboratorní úloha 2 - Roztřídění podložek M6 – M12

Cílem této úlohy je roztřídit podložky M6 až M12 dle velikosti.

10.1 Zadání

Vytvořte automatickou inspekci, která roztřídí podložky M6 až M12 dle velikosti a vypíše jejich počet a indexy.

10.2 Návrh řešení

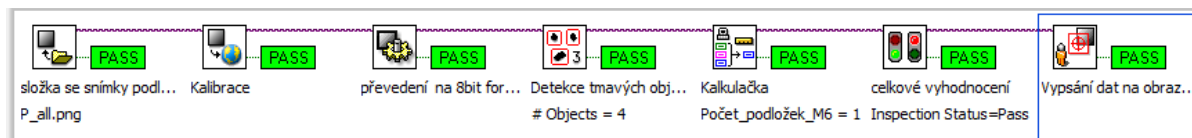
Laboratorní úloha 2 je inovací Laboratorní úlohy 1. Pro roztřídění podložek byly celkem k dispozici 3 parametry, je to celkový průměr podložky, vnitřní průměr podložky a obsah celé podložky. U této automatické inspekce byl vybrán parametr celkový průměr podložky a na základě zkoušek měření pomocí kamery byly zvoleny minima a maxima pro porovnání hodnot v kalkulačce. Kvůli možnosti záměny podložky za matici díky podobným rozměrům byl navíc přidán parametr Heywoodův faktor kruhovitosti, který vyhodnocuje, zda je objekt kruhový. Čím více se objekt kruhu podobá, tím je hodnota Heywoodova faktoru kruhovitosti blíže 1. Na základě zkoušek bylo pro Heywoodův faktor kruhovitosti podložky vyhodnoceno maximum 1,01.

Tabulka 10.1: *Průměry podložek a zvolené minima a maxima* [22]

Typ podložky	M6	M8	M10	M12
Průměr podložky (mm)	12	16	20	24
Minimální průměr (mm)	11	15	19	23
Maximální průměr (mm)	13	17	21	25

10.3 Postup

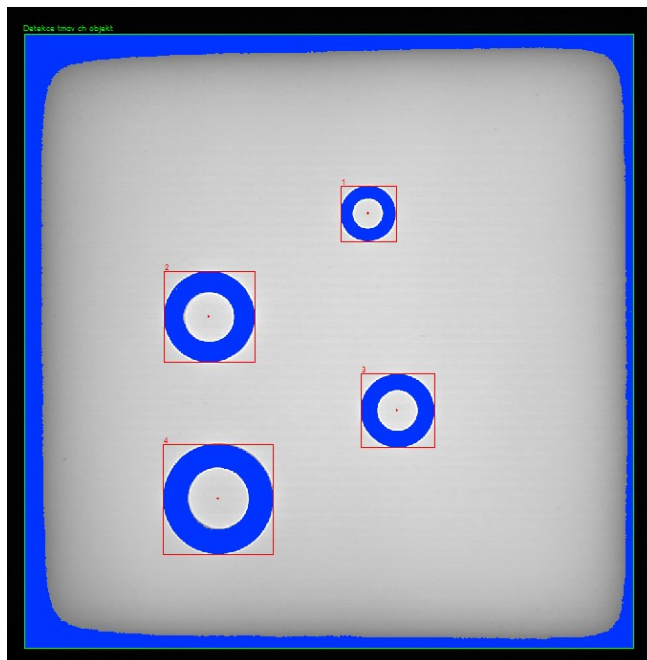
Postup řešení je podobný jako u Laboratorní úlohy 1, pouze porovnávání v kroku kalkulačka je realizováno pomocí jiných parametrů, kterými jsou průměr podložky a Heywoodův faktor kruhovitosti, kde je pro porovnání a třídění realizováno dle minimální a maximální hodnoty průměru jednotlivých podložek a stanoveného maxima faktoru kruhovitosti, viz návrh řešení. Oba parametry jsou získány pomocí předchozího kroku detekce tmavých objektů.



Obrázek 10.1: *Postup automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 2*

10.3.1 Detekce tmavých objektů

Krok detekce tmavých objektů funguje podobně, jako v Laboratorní úloze 1 detekuje na snímku všechny tmavé objekty větší než 20 mm^2 a předává dále zvolené parametry, kterými jsou střed objektu, Heywoodův faktor kruhovitosti a šířka objektu. Minimální počet objektů je nastaven na 1 a maximální na 16.



Obrázek 10.2: Ukázka detekce tmavých objektů pro Laboratorní úlohu 2

Detect Objects Setup

Main Threshold Settings Filter Limits

Look For Dark Objects

Method Manual Threshold

Histogram

Upper Value 128

Number of Objects Found: 4

Detect Objects Setup

Main Threshold Settings Filter Limits

☒ Ignore Objects Touching Region of Interest

☒ Fill Holes within Objects

☒ Minimum Object Size 20,00 mm²

☐ Maximum Object Size 100,00 mm²

Select Parameters...

Sort by Center of Mass.Y

☒ Ascending

☐ Descending

Objects

Number of Objects Found: 4

	Y (pixel)	X (pixel)	Heywood	Width (m)
1	329,02	1037,78	1,00	11,81
2	487,77	793,41	1,00	19,31
3	632,18	1083,26	1,00	15,69
4	767,94	806,88	1,00	23,47

Detect Objects Setup

Main Threshold Settings Filter Limits

Pass Inspection if...

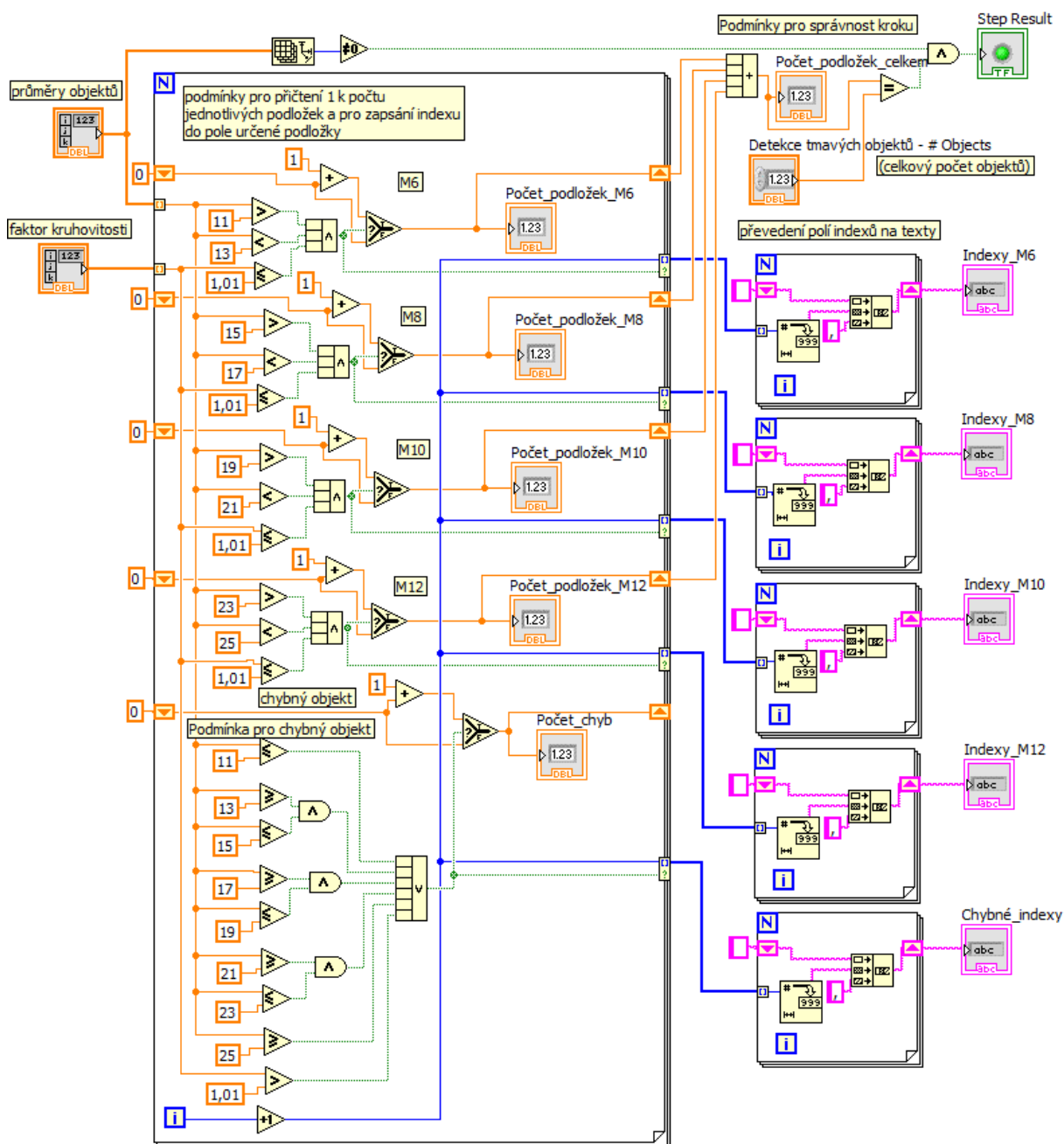
☒ Minimum Number of Objects 1

☒ Maximum Number of Objects 16

Obrázek 10.3: Nastavení kroku detekce světlých objektů pro Laboratorní úlohu 2

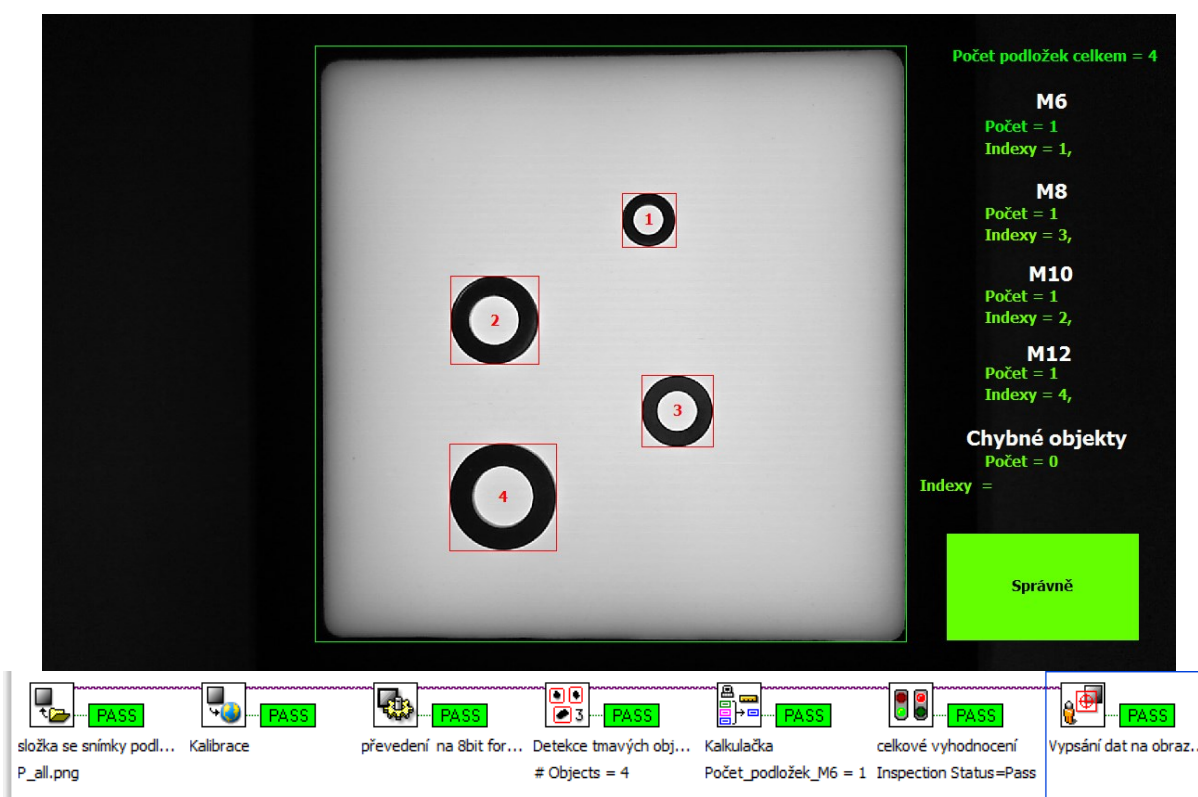
10.3.2 Kalkulačka

Princip kalkulačky je podobný jako v Laboratorní úloze 1, zde je ale pro porovnávání správnosti rozměrů objektů použit parametr průměr podložky a Heywoodův faktor kruhovitosti, viz návrh řešení. Celá podmínka pro přičtení 1 k počtu jednotlivé podložky a zapsání nalezeného indexu tedy zní, nalezený objekt musí mít šířku ve stanovených minimech a maximech průměrů jednotlivé podložky a zároveň Heywoodův faktor kruhovitosti musí být menší nebo roven stanovenému maximu 1,01. Objekty které jsou mimo stanovené maxima a minima průměrů podložky nebo mají Heywoodův faktor kruhovitosti větší než 1,01 jsou vyhodnoceny jako chybné objekty. Podmínkou správnosti kroku je, aby byl počet podložek celkem roven celkovému počtu objektů a zároveň aby počet objektů nebyl roven 0.

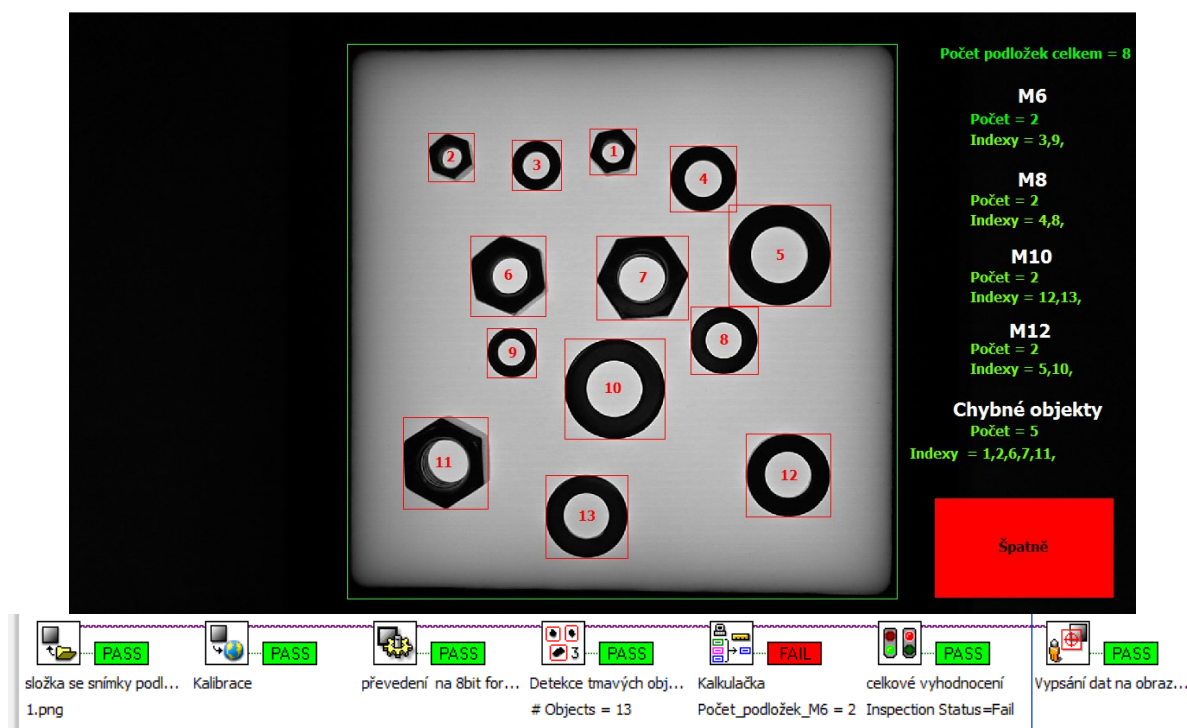


Obrázek 10.4: Řešení kalkulačky pro Laboratorní úlohu 2

10.4 Ukázky automatické inspekce



Obrázek 10.5: Ukázka správné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 2



Obrázek 10.6: Ukázka chybné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 2

10.5 Závěr k Laboratorní úloze 2

Tato automatická inspekce řeší rozřídění podložek M6 až M12, pomocí stanovených minimálních, maximálních průměrů jednotlivých podložek a maximální hodnoty Heywoodova faktoru kruhovitosti pro podložku. Po detekování objektů a rozřídění podložek a chybných objektů, pomocí kalkulačky, se vyhodnotí správnost inspekce a vypíší se data v pravé části obrazovky. Vypsány jsou počty a indexy jednotlivých podložek a chybných objektů, a nakonec status inspekce. Status inspekce je správný, jen pokud nebyl nalezen ani 1 chybný objekt a zároveň pokud není počet nalezených objektů roven 0. U inspekce je tedy řešena i možnost přítomnosti jiného objektu než je podložka, především matice, která je detekována jako chybný objekt. Celá inspekce je omezena maximálně pro 16 objektů.

11 Laboratorní úloha 3 – Roztřídění matic a podložek M6 – M12

Cílem této úlohy je roztřídit směs matic a podložek M6 až M12 dle velikosti.

11.1 Zadání

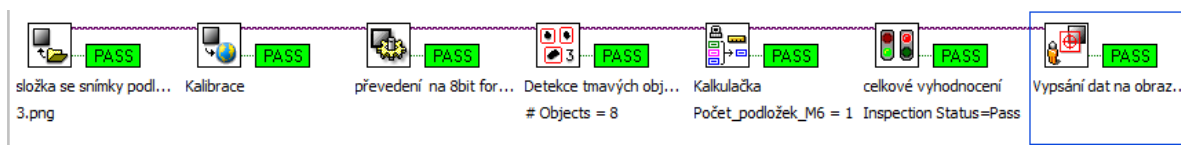
Vytvořte automatickou inspekci, která roztřídí směs matic a podložek M6 až M12 dle velikosti a vypíše jejich počet a indexy.

11.2 Návrh řešení

Laboratorní úloha 4 je sloučení Laboratorní úlohy 1 a 2. Tato laboratorní úloha bude tedy třídit matice dle jejich obsahu bez odečtení vnitřní díry a podložky dle průměru podložky a Heywoodova faktoru kruhovitosti. Pro přesnější roztřídění byl Heywoodův faktor kruhovitosti přidán i pro matice a to tak že musí být větší než maximální hodnota Heywoodova faktoru kruhovitosti pro podložku, která je rovna 1,01.

11.3 Postup

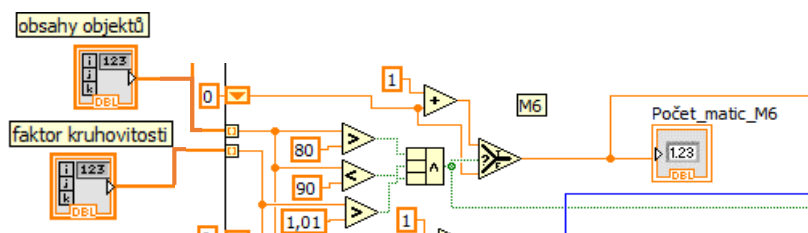
Postup této laboratorní úlohy vychází z postupu Laboratorní úlohy 1 a je doplněn postupem z Laboratorní úlohy 2, kdy obě kalkulačky byly sloučeny do jedné, a výpis dat na obrazovku byl rozšířen.



Obrázek 11.1: Postup automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 3

11.3.1 Kalkulačka

Kalkulačka vychází z Laboratorní úlohy 1 a 2, je ale rozdělena do dvou smyček, kde v jedné se kontroluje zda je nalezený objekt podložka nebo chybný objekt a v druhé zda je nalezený objekt matice. Podmínka pro jednotlivé matice je doplněna maximem Heywoodova faktoru kruhovitosti pro podložku, celá podmínka pro přičtení 1 k počtu jednotlivé matice tedy zní, nalezený objekt musí mít obsah v mezích stanoveného minima a maxima a zároveň musí být jeho Heywoodův faktor kruhovitosti větší než 1,01, podmínka pro podložky zůstává nezměněna. Podmínkou pro správnost kroku je aby celkový počet matic a celkový počet podložek byl v součtu roven celkovému počtu nalezených objektů a zároveň, aby počet nalezených objektů nebyl roven 0. Obrázek celé kalkulačky je k dispozici v Příloze A.

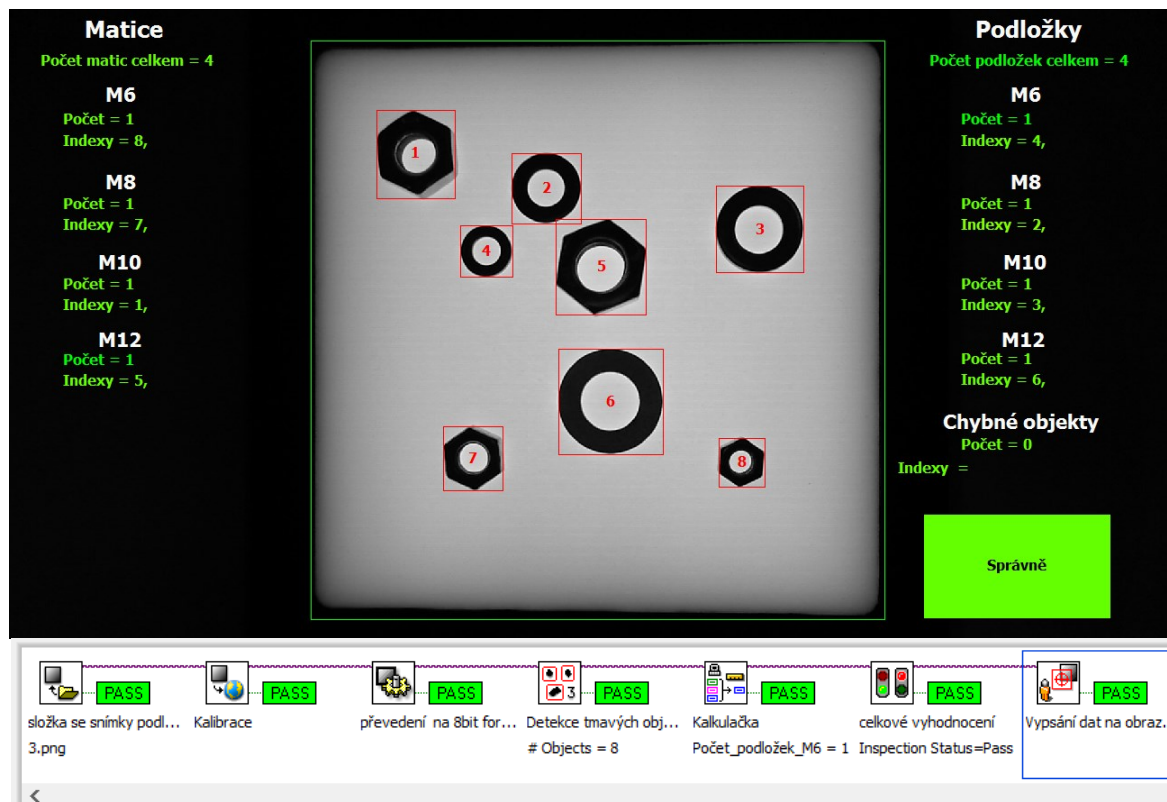


Obrázek 11.2: Ukázka podmínky pro vyhodnocení objektu jako matice typu M6

11.3.2 Vypsání dat na obrazovku

Data jsou převzata z předchozího kroku a vypsány v pravé i levé části obrazovky. Levá část obrazovky je vyhrazená pro matice a pravá pro podložky. Vypsánymi daty jsou počet matic celkem, počet podložek celkem, počet a indexy jednotlivých matic, podložek a chybných objektů, a také status inspekce. Pomocí tohoto kroku jsou také označeny detekované objekty jednotlivými indexy uprostřed objektu, tyto indexy a středy objektů jsou převzaty z kroku detekce tmavých objektů a celá inspekce je naprogramována až pro 16 indexových označení.

11.4 Ukázky automatické inspekce



Obrázek 11.3: Ukázka správné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 3

11.5 Závěr k Laboratorní úloze 3

Tato automatická inspekce je sloučením Laboratorní úlohy 1,2 a řeší roztřídění matic a podložek M6 až M12, pomocí stanovených minimálních a maximálních průměrů jednotlivých podložek, obsahů matic a maximální hodnoty Heywoodova faktoru kruhovitosti pro podložku, a také detekování chybného objektu. Po detekování objektů a roztřídění podložek a chybných objektů, pomocí kalkulačky, se vyhodnotí správnost inspekce a vypíší se data na obrazovku. V levé části se nachází vypsána data pro matice, v pravé pro podložky a v pravé dolní části pro chybné objekty a status inspekce. Status inspekce je správný, jen pokud nebyl nalezen ani 1 chybný objekt a zároveň pokud není počet nalezených objektů roven 0. Vypsánymi daty jsou počet a indexy jednotlivých podložek, matic a chybných objektů. U inspekce je tedy řešena i možnost přítomnosti jiného objektu než je podložka nebo matice typu M6 až M12 (například matice M5), takový objekt je detekovaný a vyhodnocený jako chybný objekt. Celá inspekce je omezena maximálně pro 16 objektů.

12 Laboratorní úloha 4 - Inspekce ozubeného kola

Cílem této úlohy je zjistit počet zubů a vnitřních děr ozubeného kola.

12.1 Zadání

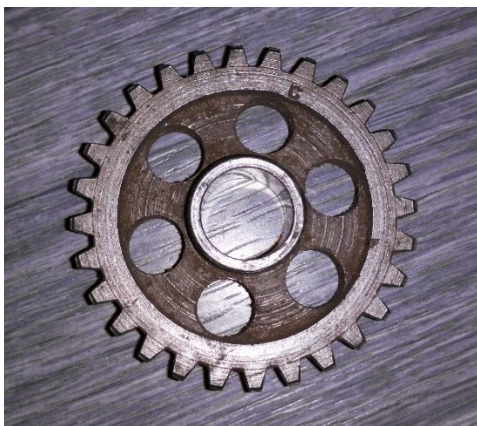
Vytvořte automatickou inspekci, která bude kontrolovat určený typ ozubeného kola, zda má správný počet zubů a vnitřních děr.

12.2 Návrh řešení

Pro realizaci byly vybrány 2 ozubené kola, první z převodovky motorky Jawy 350, dále jen ozubené kolo 1 a druhé lamela spojky Jawa pionýr, dále jen ozubené kolo 2. Jak lze vidět na obrázku 12.1 ozubené kolo 1 má 28 zubů a 7 vnitřních děr včetně středové, která je větší a Ozubené kolo 2 má 34 zubů a pouze jednu vnitřní díru, která je zároveň středová. Tyto parametry musely být ověřeny pomocí automatické inspekce a vypsány na obrazovku. Pro rozpoznání typu ozubeného kola byl vybrán parametr počet vnitřních děr a pro ověření správnosti velikosti vnitřních děr ozubeného kola 1 průměr vnitřních děr. Na základě zkoušek měření pomocí kamery byly zvoleny minima a maxima pro průměry vnitřních děr, které jsou vypsány v tabulce 12.1.

Tabulka 12.1: *Průměry vnitřních děr ozubeného kola a jejich minima a maxima*

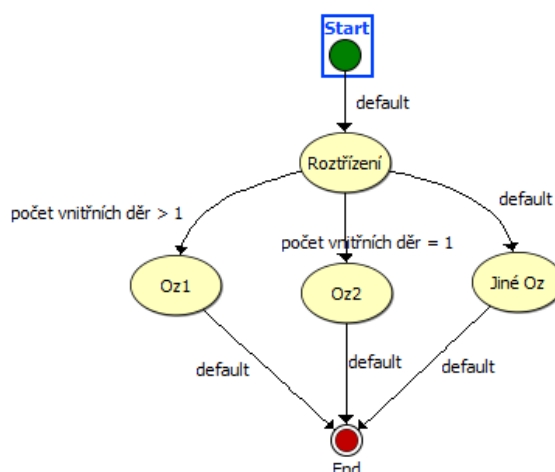
Typ díry	Průměr (mm)	Minimální průměr (mm)	Maximální průměr (mm)
Středová díra	16	15	17
Okolní díry	10	9	11



Obrázek 12.1: *Ozubené kolo 1 (vlevo) a 2 (vpravo)*

12.3 Stavový diagram

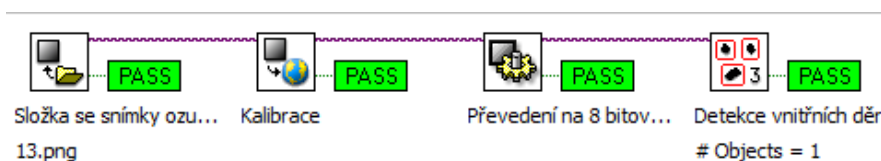
Pro rozhodnutí, který typ ozubeného kola se aktuálně nachází, musela být úloha rozdělena pomocí stavového diagramu do 4 částí. V první části s názvem Roztřídění je kód pro úpravu snímku a detekování vnitřních děr, pomocí výsledku tohoto kroku je realizováno rozhodování pro přechod do další části. Druhá část s názvem Oz1 obsahuje kód pro inspekci Ozubeného kola 1 a Třetí s názvem Oz2 obsahuje kód pro inspekci Ozubeného kola 2. Podmínkou pro přechod do části s názvem Oz1 je aby počet vnitřních děr byl větší než 1 a pro přechod do části s názvem Oz2 roven 1. Pokud nebude splněna podmínka pro přechod do části Oz1 a Oz2, inspekce přejde do čtvrté části s názvem Jiné Oz, která řeší možnost nalezení ozubeného kola jiného typu.



Obrázek 12.2: Stavový diagram pro Laboratorní úlohu 4

12.4 Postup části roztřídění

Prvním krokem je nastavení vyčítání snímků ozubeného kola, zde je použito vyčítání ze složky, kde se nachází předem vytvořené snímky. Následuje kalibrace pomocí vhodného kalibračního obrazce a převedení snímku na 8 bitový formát. V dalším kroku detekce vnitřních děr jsou na snímku detekovány vnitřní díry ozubeného kola a podle počtu vnitřních děr přejde inspekce do části Oz1 nebo Oz2.



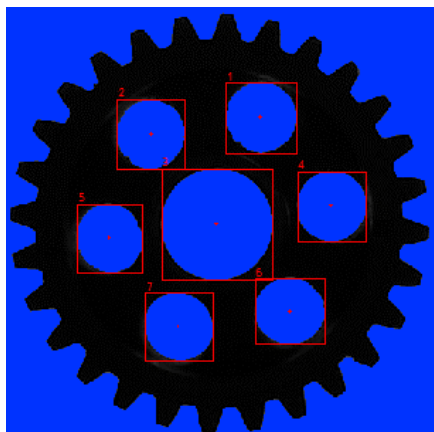
Obrázek 12.3: Postup části Roztřídění pro Laboratorní úlohu 4

12.4.1 Kalibrace a převedení na 8 bitový formát

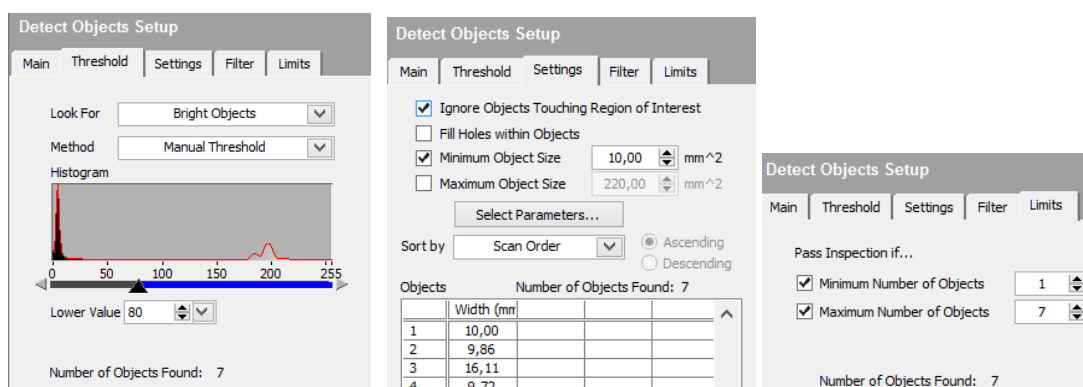
Kalibrace a převedení na 8 bitový formát je realizováno stejně jako v Laboratorní úloze 1, je použit i stejný kalibrační obrazec.

12.4.2 Detekce vnitřních děr

Detekce vnitřních děr je nastavena tak, aby detekovala světlé objekty, tedy díry ozubeného kola. U detekovaných objektů jsou zvoleným parametrem jejich průměry. Minimální velikost detekované díry byla zvolena na 10 mm², tak aby byly nalezeny i díry, které jsou menší a došlo k jejich porovnání, až v kroku kalkulačka. Minimální počet detekovaných objektů je nastaven na 1 a maximální na 7.



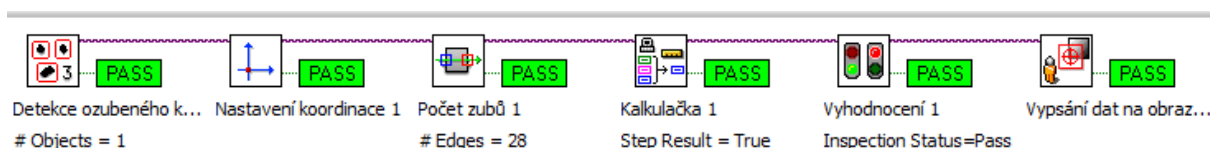
Obrázek 12.4: Ukázka kroku detekce vnitřních děr ozubeného kola



Obrázek 12.5: Nastavení kroku detekce vnitřních děr

12.5 Postup části Oz1

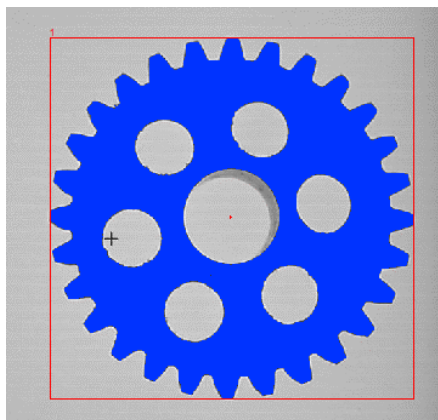
Po roztržení a splnění podmínky pro přejítí do části Oz1, následuje postup části Oz1, který se skládá z kroků detekce ozubeného kola 1, nastavení koordinace 1, počet zubů 1, kalkulačka 1, vyhodnocení 1 a vypsání dat na obrazovku 1. V kroku detekce ozubeného kola je detekováno ozubené kolo a je zobrazena pozice středu kola. Po detekci ozubeného kola následuje krok koordinace ozubeného kola 1, která je nastavená na střed ozubeného kola. Poté je v kroku počet zubů 1 kolem středu ozubeného kola vykreslena kružnice protínající jeho zuby, a tím je zjištěn počet zubů ozubeného kola. V následujícím kroku kalkulačka 1 jsou ověřeny rozměry a počet vnitřních děr, zda jsou správné. Nakonec je použit krok vyhodnocení 1 pro zjištění správnosti celé inspekce a vypsání dat na obrazovku pomocí kroku vypsání dat na obrazovku 1.



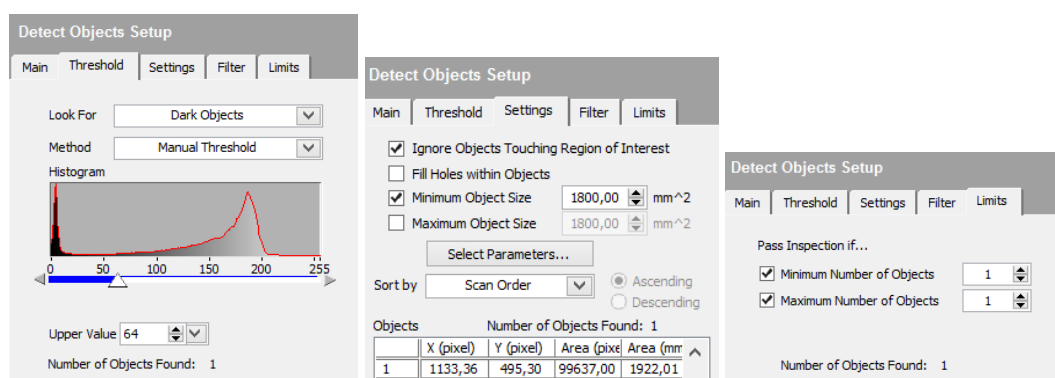
Obrázek 12.6: Postup části Oz1 pro Laboratorní úlohu 4

12.5.1 Detekce ozubeného kola 1

Detekce ozubeného kola 1 je nastavena, tak aby byl detekován tmavý objekt, tedy ozubené kolo a vypsán jeho střed. Minimální i maximální počet detekovaných objektů je nastaven na 1. Minimální velikost oblasti detekovaného objektu je nastavena dle plochy ozubeného kola na 1800 mm², která je zjištěna pomocí tohoto kroku a zobrazena na obrázku 12.8.



Obrázek 12.7: Ukázka kroku detekce ozubeného kola 1



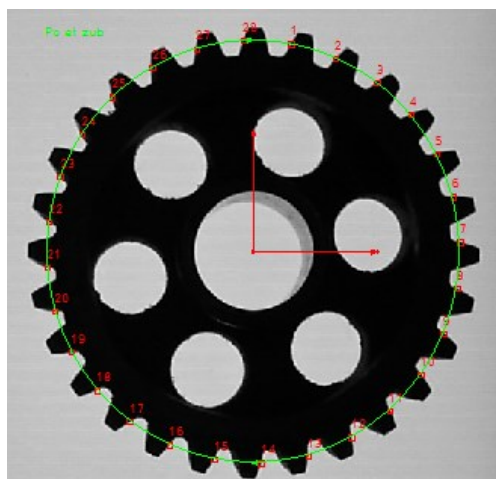
Obrázek 12.8: Nastavení kroku detekce ozubeného kola 1

12.5.2 Nastavení koordinace 1

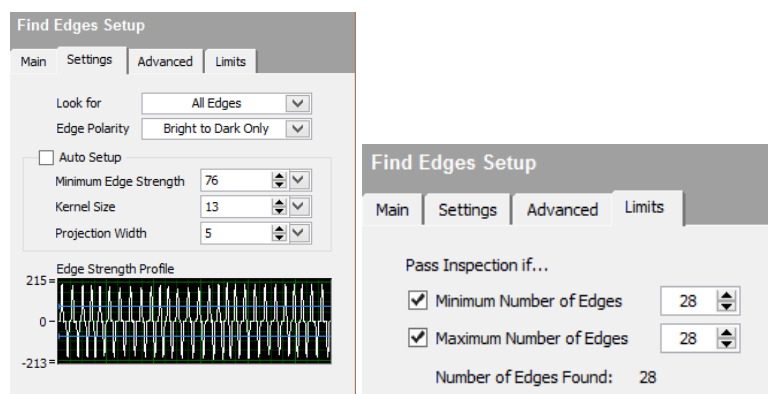
Koordinace 1 je nastavená na střed ozubeného kola z předchozího kroku a zajišťuje možnost pohybu ozubeného kola ve vertikálním i horizontálním směru.

12.5.3 Počet zubů 1

Krok počet zubů 1 je realizován pomocí funkce nalezení hran, která pomocí kružnice vykreslené kolem středu ozubeného kola a protínající zuby ozubeného kola zaznamená přechod mezi světlou a tmavou plochou a spočítá celkový počet přechodů. Celkový počet přechodů (zubů) je nastaven maximálně i minimálně na 28.



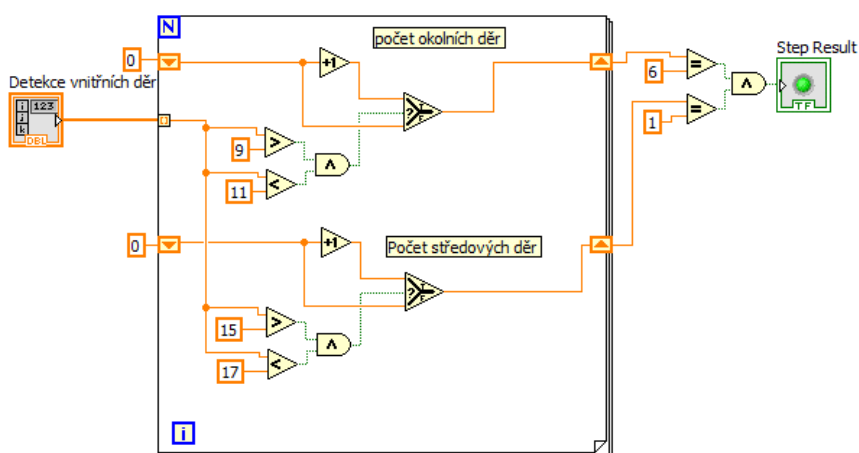
Obrázek 12.9: Ukázka kroku počet zubů 1



Obrázek 12.10: Nastavení kroku počet zubů 1

12.5.4 Kalkulačka 1

Kalkulačka 1 vyhodnocuje, zda průměry vnitřních děr jsou v mezích minimální a maximální hodnoty průměrů dle tabulky 12.1. Pokud je průměr v mezích, tak se přičte k počtu 1. Vyhodnocení tohoto kroku je nastaveno, tak že pro správnost kroku musí být nalezena 1 větší středová díra a 6 menších okolních děr.



Obrázek 12.11: Řešení kalkulačky 1 pro Laboratorní úlohu 4

12.5.5 Vyhodnocení 1

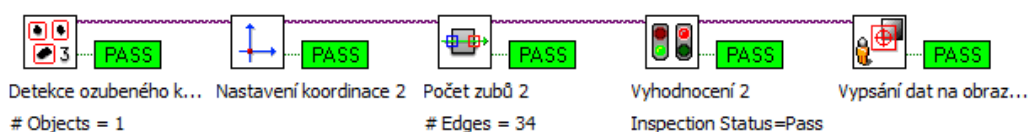
Vyhodnocení 1 je nastaveno tak, že pokud nastane chyba v jakémkoliv z předchozích kroků, bude celá inspekce vyhodnocena jako chybná.

12.5.6 Vypsání dat na obrazovku 1

Vypsání dat je soustředěno na pravou stranu obrazovky. Vypsánymi daty jsou typ ozubeného kola, počet zubů, celkový počet vnitřních děr (včetně středové) ozubeného kola a status inspekce.

12.6 Postup části Oz2

Po roztržení a splnění podmínky pro přejítí do části Oz2, následuje postup části Oz2, který je podobný postupu Oz1 akorát obsahuje jiné nastavení kroků a neobsahuje krok kalkulačka.



Obrázek 12.12: Postup části Oz2

12.6.1 Detekce ozubeného kola 2

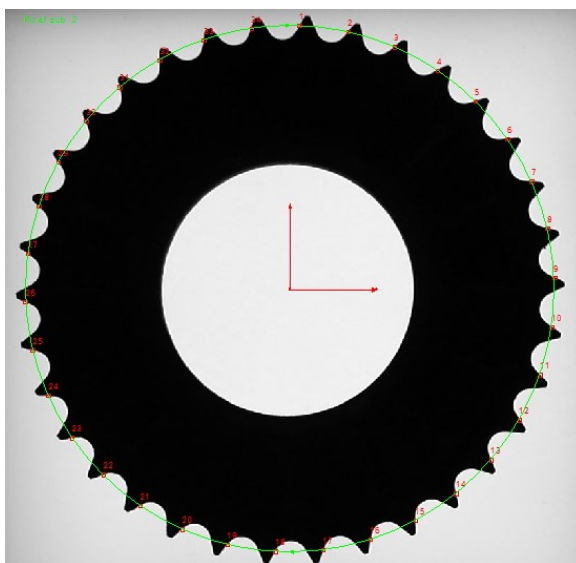
Detekce ozubeného kola 2 je nastavena, stejně jako Detekce ozubeného kola 1 akorát je zde detekováno ozubené kolo 2.

12.6.2 Nastavení koordinace 2

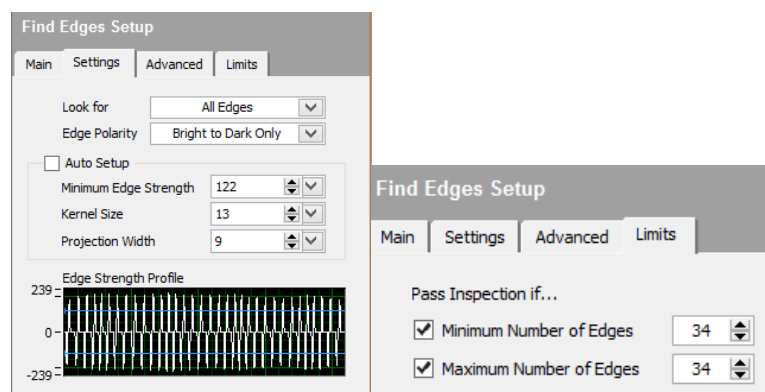
Koordinace je nastavená na střed ozubeného kola 2 z předchozího kroku a zajišťuje možnost pohybu ozubeného kola ve vertikálním i horizontálním směru.

12.6.3 Počet zubů 2

Krok počet zubů 2 má stejnou funkci jako počet zubů 1, zde je ale vykreslena větší kružnice kolem středu zubeného kola 2. Celkový počet přechodů (zubů) je nastaven maximálně i minimálně na 34.



Obrázek 12.13: Ukázka kroku počet zubů 2



Obrázek 12.14: Nastavení kroku počet zubů 2

12.6.4 Vyhodnocení 2

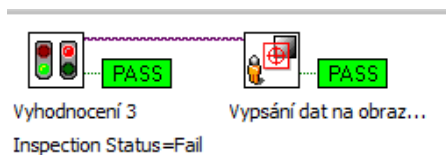
Vyhodnocení 2 je nastaveno tak, že pokud nastane chyba v jakémkoliv z předchozích kroků, bude celá inspekce vyhodnocena jako chybná.

12.6.5 Vypsání dat na obrazovku 2

Vypsání dat je soustředěno na pravou stranu obrazovky. Vypsanými daty jsou typ ozubeného kola, počet zubů počet zubů, počet vnitřních děr a celkové vyhodnocení inspekce.

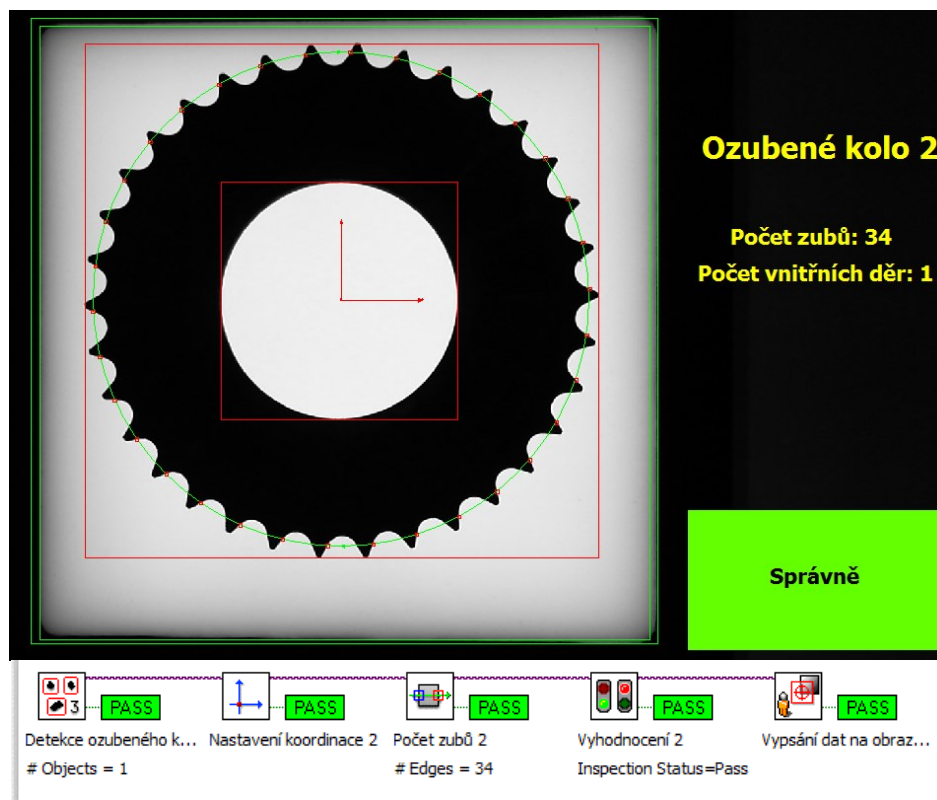
12.7 Postup části Jiné Oz

Po roztřizení a nesplnění ani jedné z podmínek pro přechod do části Oz1 nebo Oz2, dojde k přechodu do části Jiné Oz, která obsahuje pouze dva kroky. První krok vyhodnocení 3 vyhodnotí inspekci vždy jako chybnou a druhý vypsání dat na obrazovku 3 vypíše v pravé části obrazovky text neznámý nebo vadný typ ozubeného kola a status celé inspekce.

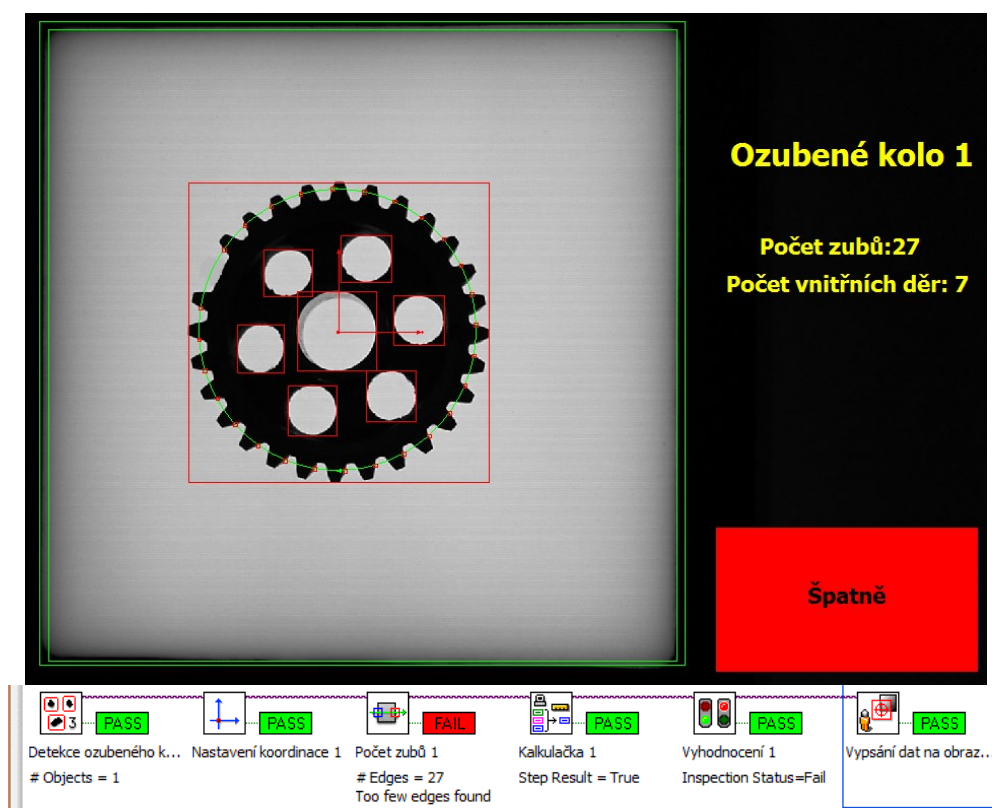


Obrázek 12.15: Postup části Jiné Oz

12.8 Ukázky automatické inspekce



Obrázek 12.16: Ukázka správné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 4



Obrázek 12.17: Ukázka chybné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 4

12.9 Závěr k Laboratorní úloze 4

Tato automatická inspekce kontroluje správnost počtu zubů a vnitřních děr pro 2 typy ozubených kol. Vybraným ozubeným kolem 1 je ozubené kolo z převodovky motorky jawy 350, které má 28 zubů a 7 vnitřních děr (včetně středové) a ozubeným kolem 2 je lamela z Jawy pionýr, která má 34 zubů a pouze středovou díru. U ozubeného kola 1 jsou kontrolovány navíc i rozměry vnitřních děr. Celá automatická inspekce je rozdělena pomocí stavového diagramu do 4 částí. První část obsahuje kroky pro úpravu snímku a krok rozhodnutí pro přejítí do druhé části s názvem Oz1 nebo do třetí části s názvem Oz2, kde jsou kroky pro jednotlivý typ ozubeného kola. Po provedení automatické inspekce, kdy je nalezeno ozubené kolo 1 nebo 2, se na pravou stranu obrazovky vypíší parametry, kterými jsou typ ozubeného kola, počet zubů, počet vnitřních děr a celkové vyhodnocení inspekce. Celá inspekce je omezená pouze pro dva dané typy ozubeného kol. Pokud nebude splněna podmínka pro přechod do druhé nebo třetí části, inspekce přejde do čtvrté části s názvem jiné Oz, kde je inspekce vždy vyhodnocena jako chybná a v pravé části obrazovky se vypíše text neznámý nebo vadný typ ozubeného kola a chybný status inspekce. Celá inspekce je tedy správná jen, pokud byl nalezený 1 z typů ozubeného kola a má správný počet zubů a vnitřních děr.

13 Laboratorní úloha 5 – Kontrola LED pásku

Cílem této úlohy je zjistit zda na LED pásku svítí všechny LED diody.

13.1 Zadání

Vytvořte automatickou inspekci, která bude kontrolovat, zda na LED pásku svítí všechny LED diody.

13.2 Návrh řešení

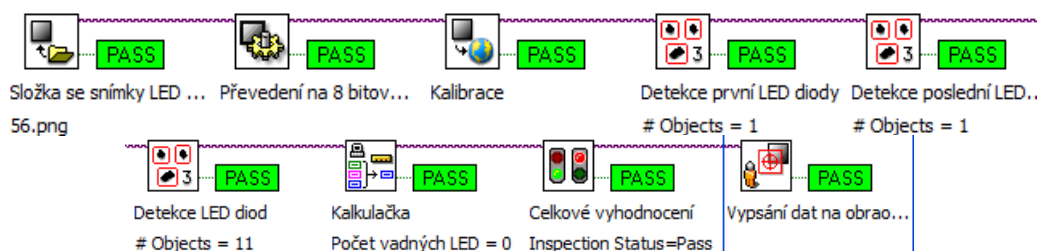
Pro realizaci této laboratorní úlohy byl vybrán modrý LED pásek typu 60xLED3528/m, který je napájen napětím 12 V. Pomocí automatické inspekce bylo nutné na LED pásku nalézt a zobrazit polohy svítících LED diod, a dále také kontrolovat vzdálenost mezi jednotlivými svítícími LED diodami, pro odhalení případných vadných LED diod, které nebudou nalezeny. Vzdálenost mezi jednotlivými diodami je 16 mm a maximum pro dodržení této vzdálenosti bylo zvoleno na 24 mm. Maximum vzdálenosti mezi diodami muselo být zvoleno dostatečně větší, protože LED pásek může i mírně nahnut a v této automatické inspekci pro větší vzdálenost mezi LED diodami postačí, když bude kontrolována vzdálenost pomocí osy x. Pro případ že by nesvítilo více LED diod v řadě, bylo také navíc zvolená hodnota pro maximální vzdálenost mezi 3 a 4 LED diodami. Pro 3 byla zvolena maximální vzdálenost na 38 mm a pro 4 na 56 mm. Pro realizaci vadné diody a odzkoušení funkčnosti inspekce jsou diody překrývány kouskem černého papíru.



Obrázek 13.1: Vybraný LED pásek

13.3 Postup

Celá automatická inspekce obsahuje 9 kroků, kterými jsou složka se snímky LED pásku, převedení na 8 bitový formát, kalibrace, detekce první a poslední LED diody, detekce LED diod, Kalkulačka, celkové vyhodnocení a vypsání dat na obrazovku. Nejprve se vyčtou předem vytvořené snímky ze složky, pomocí kroku složka se snímky LED pásku poté je snímek převeden na 8 bitový formát a je provedena kalibrace. Následují kroky detekce první LED diody a detekce poslední LED diody kontrolující nalezení první a poslední LED diody. Po té postup pokračuje krokem detekce LED diod, který detekuje na snímku LED diody a přeposílá dále jejich parametr vzdálenost osy x. Tento parametr je dále zpracován v následujícím kroku kalkulačka, kde se zjišťuje, zda vzdálenost mezi diodami je v mezích maximální hodnoty stanovené v návrhu řešení. Nakonec se provede vyhodnocení celé inspekce a vypsání dat na obrazovku.



Obrázek 13.2: Postup automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 5

13.3.1 Kalibrace

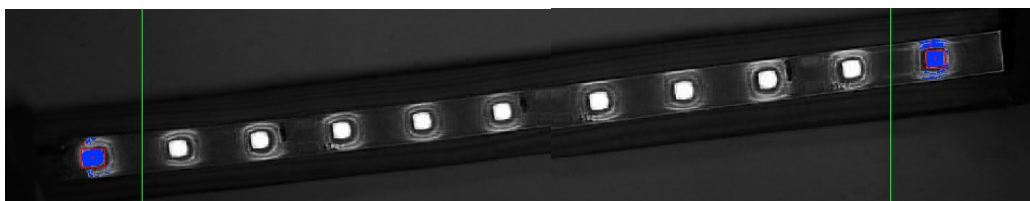
Kalibrace byla provedena pomocí vytvořeného kalibračního obrazce, podobně jako v Laboratorní úloze, zde už ale není v hardwarovém sestavení back-light osvětlovač, a proto musel být vytvořen nový kalibrační obrazec dle pravítka, který je k dispozici v příloze na CD.

13.3.2 Převedení na 8 bitový formát

Snímek je pomocí tohoto kroku obrazový asistent převeden z 32 bitového formátu na 8 bitový formát, podobně jako v Laboratorní úloze 1 zde je ale vybrána červená složka RGB snímku.

13.3.3 Detekce první a poslední LED diody

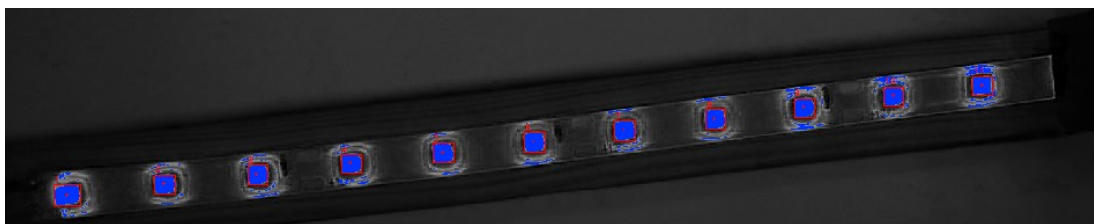
V těchto dvou krocích jsou detekovány krajní LED diody. Detekování je nastaveno pro nalezení světlého objektu ve stanovené oblasti zájmu. Podmínkou správnosti těchto kroků je, pouze aby byl nalezen minimálně jeden světlý objekt s plochou větší než 8 mm^2 , konkrétně tedy LED dioda.



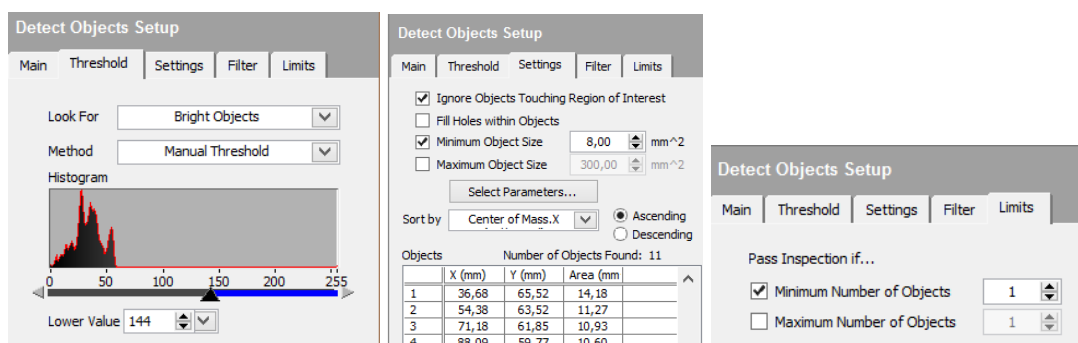
Obrázek 13.3: Ukázka kroků Detekce první a poslední LED diody

13.3.4 Detekce LED diod

Pomocí tohoto kroku jsou na celém snímku detekovány světlé objekty tedy LED diody, které mají větší plochu než 8 mm^2 . Každý nalezený světlý objekt má svůj zvolený parametr a tím je poloha středu objektu v milimetrech. Tento parametr je pak použit v dalším kroku pro zjištění vzdálenosti mezi LED diodami. Minimální počet nalezených objektů je nastaven na 1 a maximum není omezeno. Indexování nalezených objektů je nastaveno vzestupně dle hodnoty x-ové souřadnice, tedy zleva doprava.



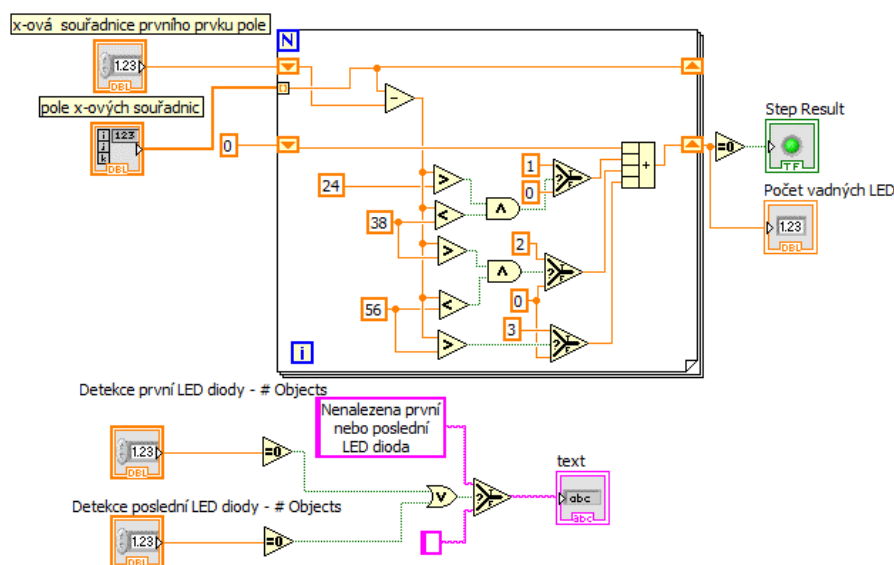
Obrázek 13.4: Ukázka kroku detekce LED diod



Obrázek 13.5: Nastavení kroku Detekce LED diod

13.3.5 Kalkulačka

V kroku kalkulačka je vyhodnocováno, zda je vzdálenost mezi diodami v mezích maximální vzdálenosti a není tedy větší než 24 mm. Pokud je hodnota vzdálenosti mezi diodami větší než 24, vyhodnocuje se dále, zda je vadná 1, 2 nebo 3 LED diody, dle maximální hodnot vzdáleností stanovených v návrhu řešení. Podle velikostí vzdáleností se přičte 0 až 3 k výstupní hodnotě počet vadných LED. Vstupem je první prvek pole a celé pole x-ových souřadnic LED diod, počty objektů z kroků detekce první a poslední LED diody. Vzdálenost mezi diodami je získána tak že se vždy od předchozí hodnoty x-ové osy odečte aktuální hodnota x-ové osy. V kalkulačce je také řešeno vložení textu nenalezena první nebo poslední LED dioda do proměnné text, v případě že počet objektů z kroků detekce první nebo poslední LED diody bude nulový. Podmínkou pro správnost kalkulačky je, aby počet vadných LED diod byl roven 0.



Obrázek 13.6: Řešení Kalkulačky pro Laboratorní úlohu 5

13.3.6 Celkové vyhodnocení

Celkové vyhodnocení je nastaveno tak, že pokud nastane chyba v jakémkoliv z předchozích kroků, bude celá inspekce vyhodnocena jako chybná.

13.3.7 Vypsání dat na obrazovku

Data jsou převzata z předchozího kroku a vypsány v pravé dolní části obrazovky. Vypsányi daty jsou počet nalezených LED diod, počet vadných LED diod, proměnná text a status inspekce.

13.4 Ukázky automatické inspekce



Obrázek 13.7: Ukázka správné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 5



Obrázek 13.8: Ukázka chybné automatické inspekce pro Laboratorní úlohu 5

13.5 Závěr k Laboratorní úloze 5

Tato automatická inspekce kontroluje, zda není na LED pásku vadná LED dioda, pomocí porovnávání vzdálenosti mezi jednotlivými diodami. Celá inspekce dokáže rozeznat až 3 za sebou vadné LED diody. Po provedení celé automatické inspekce se v pravé dolní části obrazovky vypíší data, kterými jsou počet nalezených LED diod, počet vadných LED diod a status inspekce. První a poslední LED diody jsou vyhledávány zvlášť ve stanovené oblasti a v případě nenalezení se na obrazovku vypíše nenalezena první nebo poslední LED dioda. Tato automatická inspekce je omezena pouze pro vybraný typ LED pásku se vzdáleností mezi diodami 16 mm. Inspekce je správná jen, pokud je počet vadných LED diod roven 0.

14 Závěr

V této práci byl v teoretické části proveden rozbor hardwaru pro strojové vidění, jedná se především o typ kamery, u které je dále důležité typ snímače a její komunikační rozhraní. Dalším hardwarem jsou objektivy, filtry a osvětlovače. Teoretická část také obsahuje rozbor softwaru pro tvorbu automatických inspekcí, kterým je Vision Builder for Automated inspection (VBAI) od firmy National Instrument.

V praktické části bylo vytvořeno 5 plně funkčních Laboratorních úloh, které se zabývají kamerovými testy rozměrů, tvarů a přítomnosti, konkrétně tedy roztříděním matic a podložek, inspekci ozubeného kola a kontrolou LED pásku. Jednotlivé úlohy jsou podrobně popsány a otestovány pomocí předem vytvořených snímků, kdy výsledkem jsou jednotlivé ukázky správných a chybných inspekcí a závěr každé úlohy. Každá úloha je také zkalibrována pomocí dvou vytvořených kalibračních obrazců, tak aby bylo možné měření v reálných hodnotách.

Laboratorní úloha 1 se zabývá roztříděním matic M6 až M12, dle vybraného parametru, kterým je obsah matice bez odečtení vnitřní díry a odhalení chybných objektů, jako je například podložka nebo matice se zbroušenou hranou. Výsledkem této úlohy je zjištění počtu matic celkem, počet a indexy jednotlivých matic a chybných objektů, a nakonec status inspekce.

Laboratorní úloha 2 je inovací Laboratorní úlohy 1 a řeší roztřídění podložek M6 až M12, dle vybraných parametrů, kterými jsou průměr podložky a Heywoodův faktor kruhovitosti. V této úloze je také řešeno odhalení chybných objektů, jako jsou například matice. Výsledkem této úlohy je zjištění počtu podložek celkem, počet a indexy jednotlivých podložek a chybných objektů, a nakonec status inspekce.

Laboratorní úloha 3 řeší roztřídění matic a podložek M6 až M12, jedná se tedy o sloučení Laboratorní úlohy 1 a 2, kdy výsledkem je vypsání celkového počtu matic, podložek, počet a indexy jednotlivých matic, podložek a chybných objektů, a nakonec status inspekce. U Laboratorní úlohy 1 až 3 je omezen maximální počet objektů na 16 a inspekce je správná jen, pokud nebyl nalezen ani 1 chybný objekt, a zároveň pokud počet nalezených objektů není roven 0.

Laboratorní úloha 4 řeší inspekci 2 typů ozubených kol, konkrétně zda mají správný počet zubů a vnitřních děr. Tato inspekce rozezná typ ozubeného kola pomocí počtu vnitřních děr a po té je ozubené kolo dále kontrolováno dle výrobních parametrů, a v případě nesplnění parametrů je výsledek inspekce chybný. Výsledkem této úlohy je typ ozubeného kola, počet zubů, počet vnitřních děr a status inspekce.

Laboratorní úloha 5 kontroluje, zda na vybraném typu LED pásku svítí všechny LED diody, pomocí porovnávání vzdálenosti mezi jednotlivými svítícími LED diodami. Výsledkem této úlohy je počet nalezených a vadných LED diod a status inspekce. Tato inspekce je správná jen, pokud je počet vadných LED diod roven 0.

Při vytváření této Bakalářské práce jsem se dozvěděl mnohé o problematice strojového vidění, především o hardwaru a softwaru, pro vytváření automatických inspekcí Vision Builder for Automated inspection (VBAI) od firmy National Instrument. Tato práce mi tak otevřela nové obzory a v budoucnu bych se rád věnoval této problematice.

Literatura

- [1] HOTAŘ, Vlastimil. *Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware*. V Liberci: Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [2] *Technologie: Obrazové problémy digitální fotografie I.- Senzor* [online]. Česká Republika: fotografovani.cz, 2009 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://www.fotografovani.cz/vybirame/technologie1/obrazove-problemy-digitalni-fotografie-i-senzor-152899cz?diskuse>
- [3] *Illustration of blooming artifacts* [online]. USA: Tri-Valley Stargazers, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: http://www.trivalleystargazers.org/gert/CCD_Galery/abell12_st10xme.html
- [4] *KAMERY JAI GO* [online]. Ostrava: ATEsystem, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/jai/digitalni-kamery-jai-go-s-hdr-senzory-cmos/>
- [5] *SMART CAMERA HIGH PERFORMANCE* [online]. Ostrava: ATEsystem, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/national-instruments/smart-camera/>
- [6] *RACER GIGE VISION* [online]. Ostrava: ATEsystem, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/basler/racer-gige/>
- [7] GRĚŠ, Tomáš. *Díl 1: Řádkové kamery – typy a technologie* [online]. Ostrava: ATEsystem, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/know-how/line-scan-velky-pruvodce-radkovymi-kamerami/dil-1-radkove-kamery-typy-a-technologie/>
- [8] GRĚŠ, Tomáš. *KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ VE STROJOVÉM VIDĚNÍ* [online]. Ostrava: ATEsystem, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/know-how/srovnani-nejpouzivanejsich-komunikacnich-rozhrani-ve-strojovem-videni/>
- [9] *FILTRY* [online]. Ostrava: ATEsystem, 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/filtry/>
- [10] *Objektivy* [online]. Ostrava: ATEsystem, 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/objektivy/>
- [11] *Matricová světla* [online]. Česká republika: Smart View, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/osvetleni/matricova-svetla>
- [12] *Pruhová světla* [online]. Česká republika: Smart View, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/osvetleni/pruhova-svetla>

- [13] *Kruhová světla* [online]. Česká republika: Smart View, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/osvetleni/kruhova-svetla>
- [14] *Back-light světla* [online]. Česká republika: Smart View, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/osvetleni/back-light-svetla>
- [15] *Kupolovitá světla* [online]. Česká republika: Smart View, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/osvetleni/kupolovita-svetla>
- [16] *Osvětlovače koaxiální* [online]. Česká Republika: ABBAS, 2018 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.analyza-obrazu.cz/osvetlovace/koaxialni/>
- [17] *LifeCam Studio* [online]. Česká Republika: Microsoft, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/accessories/cs-cz/products/webcams/lifecam-studio/q2f-00004>
- [18] *ZADNÍ PODSVÍCENÍ BL* [online]. Ostrava: ATEsystem, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/smart-view/zadni-podsviceni-bl/>
- [19] *UNIVERZÁLNÍ KONTROLÉR INTENZITY OSVĚTLENÍ CM-01* [online]. Ostrava: ATEsystem, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/smart-view/univerzalni-kontroler-intenzity-osvetleni-cm-01/>
- [20] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Vision Assistant Tutorial 2012*. VA_Tutorial.PDF, součást instalace 2012.
- [21] *Matice šestihranné, samojistné, prodlužovací a jiné* [online]. Česká Republika: Valenta ZT, 2016 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://www.valentazt.cz/matice.html#din-934>
- [22] *Podložka M6* [online]. Česká republika: Plotové centrum, 2010 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://www.e-shop-ploty.cz/Podlozka-M6-d418.htm>

Seznam příloh

Příloha A:	Kalkulačka Laboratorní úlohy 3	64
------------	--------------------------------------	----

CD příloha

- I. Laboratorní_úloha_1.vbai
- II. Laboratorní_úloha_2.vbai
- I. Laboratorní_úloha_3.vbai
- II. Laboratorní_úloha_4.vbai
- III. Laboratorní_úloha_5.vbai
- IV. Snímky matic (1-10.png)
- V. Snímky podložek (1-8.png)
- VI. Snímky směsi matic a podložek (1-15.png)
- VII. Snímky Ozubených kol (1-9.png)
- VIII. Snímky LED pásu (1-7.png)
- IX. Kalibrace_Laboratorní_úloha_1-4.cal2
- X. Kalibrace_Laboratorní_úloha_5.cal2
- XI. Kalibrační_obrazec_pro_Laboratorní_úlohu_1-4.png
- XII. Kalibrační_obrazec_pro_Laboratorní_úlohu_5.png

Příloha A: Kalkulačka Laboratorní úlohy 3

